

# **Elaboração de um sistema de monitorização e análise de uma instalação de ar-condicionado solar com ejeter de geometria variável**

*Fábio André Moreira de Carvalho*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador: Prof. Szabolcs Varga



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Fevereiro de 2016



*Aos meus pais*



## Resumo

A presente dissertação tem como objetivo a elaboração de um sistema de monitorização de uma instalação de ar-condicionado solar com ejedor de geometria variável. O controlo do mesmo está implementado no *software LabView* que em cada teste/monitorização regista os valores lidos nos instrumentos de medição espalhados em pontos estratégicos da instalação compilando-os num ficheiro de texto.

Foi elaborado nesse sentido um *website* em torno dos referidos ficheiros de texto que permite visualizar a performance da instalação em tempo real e, em caso de necessidade, de dados de datas passadas. São monitorizados valores de indicadores de desempenho (coeficiente de *performance*, rácio de sucção e eficiência solar), valores de variáveis instantâneas (temperaturas ambiente, do condensador, do gerador e do evaporador, valores de potência solar incidente, potência útil e potência retirada no evaporador) e ainda valores energéticos (energia solares incidente, energia solar útil e energia retirada no evaporador).

Para verificação do correto funcionamento do sistema de monitorização desenvolvido foram revistos os valores obtidos na monitorização de um dia passado (21 de Outubro de 2015) e feito um novo teste (dia 15 de Janeiro de 2016). Os testes foram divididos em várias experiências que se identificam com o encerramento de funcionamento e consequente arranque da SOLAC-TDF.

Durante a monitorização do sistema no dia 21 de Outubro verificou-se a divisão do período de leitura em 8 experiências nas quais se obteve um COP e  $\lambda$  médios durante a experiência de maior duração (22 minutos) de 0,23 e 0,11, respetivamente, para uma potência fornecida no gerador de 6,8 kW e uma potência de arrefecimento no evaporador de 1,58 kW. Constatou-se ainda durante este dia que a pressão do condensador influencia fortemente o coeficiente de *performance* sendo que este último diminui com o aumento da mesma pressão se não forem variados os parâmetros geométricos do ejedor (posição de *spindle* e de saída do bocal primário). Os valores monitorizados durante este dia verificaram-se inconstantes uma vez que se realizaram 8 experiências de período de duração curto, que acarretam operações de arranque da instalação, havendo por isso um período de adaptação às condições introduzidas no modo de controlo manual (de pressão no gerador do lado do isobutano e consequente ajuste da frequência da bomba para essa mesma pressão).

Na monitorização do sistema no dia 15 de Janeiro foram diferenciadas 2 experiências. A de maior duração estendeu-se durante 43 minutos, onde se obteve um coeficiente de *performance* e rácio de sucção médios de 0,49 e 0,35 respetivamente e confirmou-se que o aumento da pressão do condensador influencia negativamente o coeficiente de *performance*. Os valores obtidos durante este teste foram mais constantes pelo maior período de tempo em que se realizaram as experiências.



## Abstract

This dissertation aims at developing a system of monitoring of a solar air conditioning system with variable geometry ejector. The system control is implemented in LabView software and on each test / monitoring it records the readings on the measuring instruments scattered at strategic points of the installation and compiling them into text files.

It was prepared accordingly a website built around those text files that allows to view the real-time performance of the installation and if necessary data of past dates. Performance indicators values (coefficient of performance, entrainment ratio and solar efficiency), instant variable values (ambient temperatures, condenser, generator and evaporator, incident solar power values, power output and power draw on the evaporator) and even energy values (solar incident energy, solar energy and useful energy extracted from the evaporator) are monitored.

To check the correct functioning of the developed monitoring system, values achieved were revised in the monitoring of a past day (21st of October 2015) and in a new test (15th of January 2016).

While monitoring the system on 21st of October, 8 experiments took place. The longer one lasted 22 minutes in which were achieved coefficient of performance and entrainment ratio average values of 0.23 and 0.11 for a generator power of 6.8 kW and evaporator cooling capacity of 1.58 kW. It was also found during this test day that the condenser pressure strongly influences the values of the coefficient of performance. It decreases with increasing pressure if we keep constant the geometric ejector parameters (spindle position and nozzle exit position). The values monitored during the day were unstable since 8 short duration experiments were performed that lead to start-up operations of solar test demonstration facility, and therefore a period of adaptation to the conditions introduced in the manual control mode (isobutane pump frequency adjustment for a given selected generator pressure).

On the system monitoring on January 15th two differentiated experiences took place. The longer lasted for 43 minutes in which was obtained a coefficient of performance and entrainment ratio average values of 0.49 and 0.35 respectively and it was confirmed that the increase in condenser pressure adversely affects the COP. The values obtained for this didn't experience so much fluctuation when compared to the 21<sup>st</sup> of October.





## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Szabolcs Varga pela disponibilidade e sentido crítico demonstrado ao longo da elaboração desta dissertação. Dedico também um agradecimento ao João Soares e ao Paulo Pereira pela ajuda prestada.

À Catarina pelo constante apoio e encorajamento. Ao Telmo pela grande ajuda, disponibilidade e paciência.

A toda a minha família que sempre me apoiou em todos os momentos.



## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Panorama de inserção das tecnologias solares no mercado energético .....	1
1.2	Procura e projeções de aquecimento e arrefecimento .....	
1.2.1	União Europeia .....	2
1.2.2	Mercado Português .....	6
1.3	Motivação para a dissertação .....	9
1.4	Organização da dissertação .....	10
2	Revisão Bibliográfica .....	11
2.1	Classificação de sistemas de ar-condicionado com energia solar .....	11
2.2	Tecnologia de refrigeração solar com ejetor .....	14
2.3	Funcionamento do ejetor .....	15
2.4	Vantagens e limitações da aplicação de um sistema de arrefecimento solar com ciclo ejetor .....	21
2.2	Recomendações para uma mais rápida implementação dos sistemas de arrefecimento solar com ejetor no mercado .....	22
3	Apresentação do sistema de demonstração de ar-condicionado alimentado por energia solar .....	23
3.1	Subsistema solar .....	24
3.2	Subsistema de refrigeração com ejetor de geometria variável .....	27
3.3	Subsistema de arrefecimento/aquecimento .....	30
3.4	Subsistema de dissipação .....	31
4	Desenvolvimento do sistema de monitorização da instalação SOLAC-TDF .....	33
4.1	Instrumentação da SOLAC-TDF .....	33
4.2	Aquisição de valores medidos .....	34
4.3	Procedimento de monitorização .....	37
4.4	Desenvolvimento do sistema de monitorização .....	38
4.4.1	Variáveis monitorizadas .....	38
4.4.1.1	Valores instantâneos da SOLAC-TDF .....	38
4.4.1.2	Indicadores de performance da SOLA-TDF .....	39
4.4.1.3	Valores energéticos da SOLAC-TDF .....	42
4.4.2	Tratamento e apresentação de dados .....	43
4.4.3	Aquisição e tratamento de valores medidos num ficheiro de texto, output do programa LabView .....	43
4.4.4	Desenvolvimento do website .....	45
4.4.5	Desenvolvimento dos programas para a criação do website .....	45
4.4.6	Filtro de seleção de dados aplicado no website .....	49
4.4.7	Estrutura e funcionalidades do website .....	50

5	Resultados experimentais .....	53
5.1	Teste 1 .....	54
5.2	Teste 2 .....	62
6	Conclusões e propostas de trabalhos futuros .....	71
	Referências .....	75
ANEXO A:	Tabela correspondente à pressão de saturação para uma determinada temperatura de R600a no gerador .....	79
ANEXO B:	Código em linguagem php (“buscarinformacao.php” para retirar informação da base de dados para colocação no website .....	81
ANEXO C:	Código da classe “main” no programa java .....	85
ANEXO D:	Código da classe “leitor” no programa java .....	89
ANEXO E:	Código da classe “calculos” no programa java .....	97
ANEXO E:	Código da classe “basededados” no programa java .....	101
ANEXO G:	Código da classe “definições” no programa java .....	107

## Índice de figuras

Figura 1: Necessidades de aquecimento e arrefecimento e evolução da área solar térmica no conjunto de países EU -27 no cenário RDP [ adaptado de 11].....	3
Figura 2: Número de empregos no setor solar térmico de acordo com o cenário RDP [adaptado de 11].....	4
Figura 3: Contribuição do setor solar térmico na redução das emissões de CO <sub>2</sub> no cenário RDP [adaptado de 11].....	5
Figura 4: Mapa da irradiação solar média na Europa [adaptado de 14]. ....	6
Figura 5: Evolução do mercado solar térmico em Portugal [adaptado de 12].....	7
Figura 6: Classificação das tecnologias de refrigeração solar [adaptado de 17].....	12
Figura 7: a) Ciclo de refrigeração solar com ejedor [adaptado de 22]. b) Diagrama p-h do ciclo de refrigeração. [adaptado 23] .....	15
Figura 8 - Ejedor de geometria variável [adaptado de 24].....	16
Figura 9 – Pressão dos fluídos primário e secundário em relação à sua posição no ejedor (adaptado de [25] [26]).....	16
Figura 10 - Condições operacionais num ejedor de geometria fixa (adaptado de [25,26]).....	17
Figura 11 - Razão de sucção em função da razão de áreas para os fluídos primário e secundário [adaptado de 27] .....	18
Figura 12 - Caudal mássico primário e secundário em relação à posição do spindle [28].....	19
Figura 13 - Razão de sucção em função do NXP para diferentes temperaturas no evaporador [29] .....	19
Figura 14 – a) Razão de sucção para diferentes temperaturas de gerador e fluídos; b)COP para diferentes temperaturas do gerador e fluídos [30] .....	21
Figura 15 – Fotografia da SOLAC-TDF.....	23
Figura 16 - Esquema de um sistema solar de circulação forçada [34] .....	24
Figura 17 – Esquema do campo solar da instalação [35] .....	24
Figura 18 - Fotografia de pormenor de um coletor solar AR 30 da BAXIROCA.....	25
Figura 19 – Fotografia do acumulador ASA 50 - IN da BAXIROCA.....	25
Figura 20 - Fotografia do vaso de expansão Vasoflex/S 50 da BAXIROCA.....	26

Figura 21- Fotografia do purgador FLAMCOVENT da saída dos coletores solares.....	26
Figura 22 – Fotografia da bomba SXM 25.....	27
Figura 23 - Central Solar CS-10.....	27
Figura 24 - Esquema do subciclo de refrigeração [35].....	28
Figura 25 – Fotografia da bomba utilizada para o isobutano (Fluid-o-TECH, modelo TMFRSS051V).....	28
Figura 26 – Fotografia do ejetor de geometria variável e respetivos servomotores.....	29
Figura 27 – Fotografia do separador gás – líquido.....	30
Figura 28 – Esquema do subsistema de aquecimento/arrefecimento [35].....	31
Figura 29 – Fotografia do ventilo-convetor.....	31
Figura 30 – Esquema do subsistema de dissipação [35].....	31
Figura 31 – Fotografia do ventilador de dissipação.....	32
Figura 32 – Esquema da instalação e respetivos instrumentos de medição sem representação do campo solar [adaptado de 39].....	34
Figura 33 – Fotografia de: a)Data Logger HP b) Placa I/O da NI e placa de conversão de sinal de tensão da UISPA.....	35
Figura 34 – <i>Screenshot</i> do programa desenvolvido em <i>LabView</i> : a) Separador “Startup” b) Separador “Schematics” .....	35
Figura 35 – <i>Screenshot</i> do programa desenvolvido em <i>LabView</i> em Separador “Diagram Window”.....	36
Figura 36 - Painel de controlo do programa <i>LabView</i> .....	37
Figura 37 – <i>Screenshot</i> do separador “StartUp” programa <i>LabView</i> .....	43
Figura 38 – Alteração levada a cabo no programa <i>LabView</i> .....	44
Figura 39 – Esquema de construção do <i>website</i> .....	45
Figura 40 - Fluxograma do algoritmo da leitura de ficheiros.....	46
Figura 41 – <i>Screenshot</i> do ficheiro de texto “config” referente à classe “definições”...	47
Figura 42 – <i>Screenshot</i> do início do código para definição de variáveis de programação em linguagem <i>java</i> da classe “Calculos” no programa <i>Eclipse</i> .....	47
Figura 43 – <i>Screenshot</i> do início do código de programação em linguagem <i>java</i> da classe “Calculos” no programa <i>Eclipse</i> .....	48
Figura 44 – <i>Screenshot</i> da organização dos ficheiros na base de dados.....	48
Figura 45 – <i>Screenshot</i> do ambiente de programação em <i>html</i> correspondente ao cálculo dos somatórios energéticos.....	49
Figura 46 - <i>Screenshot</i> do filtro aplicado ao <i>website</i> .....	50
Figura 47 – <i>Screenshot</i> da página principal ou “Home” do <i>website</i> .....	50
Figura 48 – <i>Screenshot</i> ilustrativo do modo de seleção da data a apresentar no separador “Monitoring – Historical Data” do <i>website</i> .....	51
Figura 491 – <i>Screenshot</i> do <i>website</i> demonstrativo dos modos para realizar <i>zoom</i> .....	51

Figura 50 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> demonstrativo da verificação do valor de COP para um determinado ponto.....	52
Figura 51 - COP em função da pressão do condensador, experiência 1 no dia 21-10-2015.....	57
Figura 52 - COP em função da pressão do condensador, experiência 5 no dia 21-10-2015.....	57
Figura 53 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> do dia 21-10-2015 dos gráficos no tempo de: a)COP b) $\lambda$ .....	58
Figura 54 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> dos valores do COP das 14:38:21 às 14:42:44 do dia 21 de Outubro de 2015.....	58
Figura 55 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> dos valores do rendimento solar das 14:38:21 às 14:42:44 do dia 21 de Outubro de 2015.....	59
Figura 56 – <i>Screenshot</i> do <i>website</i> dos gráficos das temperaturas no tempo do dia 21 de Outubro de 2015 de: a)evaporador; b) saída do condensador; c)gerador.....	60
Figura 57 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> do dia 21 de Outubro de 2015 de: a) radiação solar b) radiação incidente c) calor útil d) potência de arrefecimento.....	61
Figura 58 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> dos contadores energéticos do dia 21 de Outubro de 2015.....	61
Figura 59 – Gráfico do COP em função da pressão de condensação para a experiência 2 no dia 15-01-2016.....	63
Figura 60 – <i>Screenshot</i> do <i>website</i> do gráfico do COP no tempo do dia 15 de Janeiro de 2016.....	65
Figura 61 – <i>Screenshot</i> do <i>website</i> do gráfico do $\lambda$ no tempo no dia 15 de Janeiro de 2016.....	66
Figura 62 – <i>Screenshot</i> do <i>website</i> do gráfico do rendimento solar no tempo do dia 15 de Janeiro de 2016.....	67
Figura 63 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> correspondentes ao dia 15 de Janeiro de 2016 : a) gráfico da temperatura do gerador no tempo b) gráfico da temperatura do evaporador no tempo c) gráfico da temperatura da saída do condensador no tempo.....	68
Figura 64 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> do dia 15 de Janeiro de 2016 dos gráficos de : a) radiação solar no tempo b) potência incidente no tempo.....	69
Figura 65 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> do dia 15 de Janeiro de 2016 dos gráficos de : a) potência útil no tempo b) potência de arrefecimento do evaporador no tempo.....	69
Figura 66 - <i>Screenshot</i> do <i>website</i> dos contadores energéticos do dia 15 de Janeiro de 2016.....	70





## Índice de tabelas

Tabela 1 - Nível de atuação do setor solar térmico previsto para satisfazer as necessidades energéticas no ano 2020 [13].....	6
Tabela 2 - Consumo de energias renováveis em Portugal [15].....	8
Tabela 3 - Contribuição de energias renováveis nos transportes em Portugal [15].....	8
Tabela 4 - Contribuição de energias renováveis utilizadas na eletricidade em Portugal [15].....	8
Tabela 5 - Parcela de energias renováveis utilizadas para arrefecimento e aquecimento em Portugal [15].....	9
Tabela 6 - Desempenho e tipos de coletor das diversas tecnologias de ar-condicionado solar [18].....	12
Tabela 7 - Principais características dos permutadores de calor Alfa Laval.....	29
Tabela 8 - Horas de início e fim das diferentes experiências realizadas no dia 21-10-2015.....	54
Tabela 9 - Resumo das experiências do dia 21 de Outubro de 2015.....	54
Tabela 10 - Valores máximos de parâmetros para as experiências 1 a 8 do dia 21-10-2015.....	56
Tabela 11 - Horas de início e fim das diferentes experiências do dia 15-01-2016.....	62
Tabela 12 - Resumo das experiências dia 15-01-2016.....	63
Tabela 13 - Valores máximos e mínimos de parâmetros para as experiências 1 e 2 do dia 15-01-2016 .....	64



## Símbolos, acrónimos e abreviaturas

Descrição	Símbolo	Unidades
Área de captação dos coletores solares	$A_{col}$	[m <sup>2</sup> ]
Calor específico da água no gerador	$c_{p,g}$	[kJ/kg.K]
Calor específico da água nos coletores solares	$c_{p,col}$	[kJ/kg.K]
Calores específico da água no evaporador	$c_{p,e}$	[kJ/kg.K]
Caudal mássico de água no evaporador	$\dot{m}_{e,a}$	[kg/s]
Caudal mássico de água no gerador	$\dot{m}_{g,a}$	[kg/s]
Caudal mássico de água no gerador	$\dot{m}_{g,a}$	[kg/s]
Caudal mássico de isobutano na entrada primária	$\dot{m}_{prim}$	[Kg/s]
Caudal mássico de isobutano na entrada secundária	$\dot{m}_{sec}$	[Kg/s]
Caudal mássico de isobutano na saída do ejetor	$\dot{m}_{out}$	[Kg/s]
Caudal volúmico da água no evaporador	$\dot{V}_{e,a}$	[l/min]
Caudal volúmico da água no gerador	$\dot{V}_{g,a}$	[l/min]
Caudal volúmico do isobutano na entrada secundária	$\dot{V}_{sec}$	[l/min]
Caudal volúmico do isobutano na saída do ejetor	$\dot{V}_{out}$	[l/min]

Coeficiente de performance	COP	
Constante particular do isobutano	$R$	kJ/kg.K
Desvio padrão relativo	DPR	
Energia incidente	$E_i$	kWh
Energia retirada no evaporador	$E_e$	kWh
Energia útil	$E_u$	kWh
Instalação de testes de um sistema de ar-condicionado solar	SOLAC-TDF	
Massa específica da água no evaporador	$\rho_e$	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Massa específica da água no gerador	$\rho_g$	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Massa específica do isobutano na entrada secundária	$\rho_{sec}$	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Massa específica do isobutano na saída do ejetor	$\rho_{out}$	[Kg/m <sup>3</sup> ]
Potência fornecida no gerador	$\dot{Q}_g$	[kW]
Potência retirada no evaporador	$\dot{Q}_e$	[kW]
Potência solar incidente	$\dot{Q}_i$	[kW]
Potência solar útil	$\dot{Q}_u$	[kW]
Pressão do isobutano na entrada secundária	$P_{sec}$	[bar] ou [kPa]
Pressão do isobutano na saída do ejetor	$P_{out}$	[bar] ou [kPa]
Radiação incidente por unidade de área	$G$	[W/m <sup>2</sup> ]
Razão de sucção	$\lambda$	
Temperatura da água na entrada dos coletores solares	$T_{in,col}$	[°C]
Temperatura de entrada da água no evaporador	$T_{in,e}$	[°C]

Temperatura de entrada da água no gerador	$T_{in,g}$	[°C]
Temperatura de saída da água no evaporador	$T_{out,e}$	[°C]
Temperatura de saída da água no gerador	$T_{out,g}$	[°C]
Temperatura de saída da água nos coletores solares	$T_{out,col}$	[°C]
Temperatura do isobutano na entrada secundária	$T_{sec}$	[°C]
Temperatura do isobutano na saída do ejetor	$T_{out}$	[°C]
Temperatura média da água no evaporador	$T_{e,a}$	[°C]
Temperatura média da água no evaporador	$T_{g,a}$	[°C]
Temperatura média da água nos coletores solares	$T_{col,a}$	[°C]



## **Capítulo 1**

### **Introdução**

Neste primeiro capítulo é feita uma introdução à presente dissertação, sendo referida a situação onde se inserem as tecnologias solares no mercado energético, explicadas as situações do mercado da Europa e em Portugal para as energias renováveis e arrefecimento/aquecimento com recurso a energia solar. São reunidas as motivações para a elaboração deste trabalho bem como a organização desta dissertação.

#### **1.1 - Panorama de inserção das tecnologias solares no mercado energético**

As sociedades dos países desenvolvidos têm vindo a tornar-se cada vez mais exigentes no que toca ao nível de conforto no interior dos edifícios, tanto de habitação como de serviços, pelo que, uma parcela de cerca de 40% do consumo energético total da Europa é direcionado para a climatização dos edifícios [1] [2].

A tendência é registar-se um aumento das necessidades de climatização, em particular de arrefecimento (cerca de 300%) [3], motivado por aspetos como o agravamento do aquecimento global, o efeito de calor da ilha urbana e, especialmente no caso dos edifícios de serviços, o aumento do número de computadores (ganhos internos) e as preferências arquitetónicas [4]. O efeito de calor da ilha urbana é característico de cidades com grande densidade de edifícios, onde, em cada um existem numerosas unidades de ar condicionado colocadas nas fachadas para onde é extraído o calor rejeitado, contribuindo para o aumento da temperatura naquela zona. Este aumento de temperatura aumenta a necessidade de utilizar os sistemas de ar condicionado que, por outro lado, vêm o seu COP diminuir com o aumento da temperatura, o que intensifica o consumo energético e assim sucessivamente [5].

O rápido crescimento do consumo de energia e consequente aumento da emissão dos gases de estufa é apontado como um dos principais responsáveis pelo aquecimento global do planeta. Isto justifica uma necessidade de procuras alternativas para a demanda energética da Europa. É importante que nos separemos da dependência dos combustíveis fósseis que tanta controvérsia têm gerado na sociedade atual tanto a nível político bem como económico. As energias renováveis surgem então como uma boa alternativa para o combate aos anteriormente referidos problemas. Para combater a situação com que nos deparamos hoje várias convenções tiveram lugar, como por exemplo o Protocolo de

Kyoto no Aquecimento global (1998), que apontam à redução da percentagem que os combustíveis fósseis ocupam no *mix* energético [6].

Com vista em dar resposta às crescentes necessidades energéticas, torna-se imperativo procurar soluções de energias renováveis que permitam à Europa diminuir a sua dependência dos combustíveis fósseis, tanto por questões económicas como ambientais.

Um terço da eletricidade utilizada na climatização corresponde ao consumo para ar-condicionado e refrigeração [7]. Perante isto, encontrar sistemas alternativos que recorram a energia limpa para proceder ao arrefecimento dos edifícios, apresenta-se como um grande passo no objetivo global de minimizar a emissão de agentes poluentes.

Para proceder ao arrefecimento dos espaços é comum recorrer aos sistemas de ciclos de compressão de vapor, isto é, o ar condicionado tradicional, sistemas estes que implicam um elevado consumo de eletricidade [8]. O arrefecimento com recurso a energia solar apresenta-se como uma boa alternativa aos sistemas convencionais, ao cumprir o mesmo objetivo com a vantagem de não poluir. Os sistemas de produção de energia solar convertem radiação solar em energia térmica ou em eletricidade. No caso destes últimos, como a maior parte da radiação incidente nas células fotovoltaicas não é convertida em eletricidade mas refletida ou convertida em energia térmica, há uma baixa eficiência. Esta tecnologia surge há cerca de 35 anos como uma tentativa de solucionar problemas em áreas secas e desérticas onde a eletricidade não era tão acessível como nos países desenvolvidos. Com a crise energética dos anos 70, cientistas e engenheiros voltaram as suas atenções para o desenvolvimentos de máquinas que pudessem operar eficazmente a energia solar e de modo económico [9].

As tecnologias de arrefecimento e aquecimento com recurso a energias renováveis, como é o caso da energia solar, surgem como uma apelativa solução em relação aos fotovoltaicos quando associados a um ciclo de arrefecimento térmico. Uma das grandes vantagens do arrefecimento solar térmico está no facto de a disponibilidade de energia solar ser maior quando as necessidades de arrefecer também o são. [10]

## **1.2 - Procura e projeções de aquecimento e arrefecimento**

### **1.2.1 - União Europeia**

Os países membros da União Europeia comprometeram-se em fazer com que uma percentagem de 20% do consumo energético total europeu corresponda a energias renováveis. Para que isso aconteça pelo ano de 2020, é necessário alterar por completo o paradigma de consumo energético europeu, dando protagonismo a energias renováveis através de programas de incentivos e investigação na área. Como já foi referido, uma grande parcela do consumo energético na Europa está associada aos edifícios, pelo que, com o intuito de estudar o contributo da energia solar térmica, foram selecionados 5 países europeus de referência (Áustria, Dinamarca, Alemanha, Polónia e Espanha), cujos dados são analisados e depois extrapolados para representar o panorama geral com os 27 países pertencentes à União Europeia [11]. Com os dados dos países de referência utilizados foi criado um modelo pela ESTIF (*European Solar Thermal Industry Federation*) que avalia as necessidades de aquecimento e arrefecimento para os anos de 2020, 2030 e 2050,



permitindo assim, obter valores de referência em relação ao futuro do setor. O objetivo é criar estratégias de resposta às necessidades projetadas, bem como, obter informação sobre a influência em vários aspetos, como a emissão de CO<sub>2</sub> e a criação de emprego no setor. A ESTIF é uma entidade cuja missão principal é atingir grande percentagem de aceitação e prioridade para a energia solar térmica como um elemento principal para arrefecimento e aquecimento sustentável na Europa.

As necessidades dizem respeito ao aquecimento dos espaços nos edifícios de habitação e de serviços, aquecimento de água, aquecimento industrial de baixa temperatura e sistemas de arrefecimento nos edifícios de habitação e de serviços.

Para as referidas projeções são considerados três cenários possíveis [11]:

- “*Business as Usual*” (BAU) o que entende a manutenção da situação atual para os próximos anos, sem quaisquer esforços de mudança;
- “*Advanced Market Deployment scenario*” (AMD), onde são consideradas medidas de suporte financeiro e político, subsídios, pesquisa e medidas de eficiência energética;
- “*Full R&D Policy scenario*” (RDP), o que implica as mesmas medidas referidas no cenário AMD, aplicadas com maior intensidade, tratando-se por isso, do cenário mais ambicioso.

A Figura 1 demonstra a evolução das exigências de aquecimento de espaço, água, arrefecimento (em TWh) com base do ano 2006 com projeções para os anos de 2020, 2030 e 2050. Simultaneamente, está representado o contributo do setor solar térmico em cada tipo de necessidade, e a forma como também este sofrerá alterações no futuro, tendo em conta o cenário RDP.

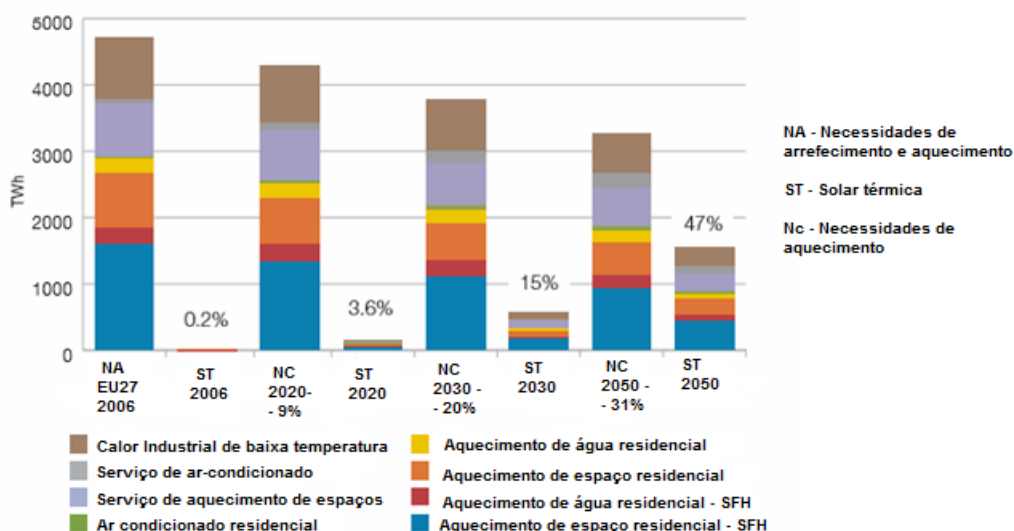


Figura 1: Necessidades de aquecimento e arrefecimento e evolução da área solar térmica no conjunto de países EU -27 no cenário RDP [ adaptado de 11].

Segundo a figura, é espectável o aumento do contributo das solares térmicas até ao ano 2050, de 0,2% para 47%, aumentando também o número de áreas da sua influência. Enquanto no ano de 2006 a energia solar térmica possuía um contributo na área de aquecimento/arrefecimento de 0,2% atuando somente ao nível do aquecimento da água das habitações, pelo ano 2050 espera-se que este passe também a dar resposta às necessidades de aquecimento do espaço (habitacional e de serviços), de aquecimento industrial de baixa temperatura, e, numa parcela mais pequena, terá também algo a dizer no ar condicionado em edifícios habitacionais e de serviços.

No melhor dos casos, os rendimentos anuais da energia solar térmica previstos seriam de cerca de 1552 TWh. A área de coletores necessária para atingir os alvos apresentados na figura 1 seriam de 8 m<sup>2</sup> por habitante [11].

Na Figura 2 está representado outro aspeto de grande interesse, o número de empregos para os anos de 2006 a 2020.

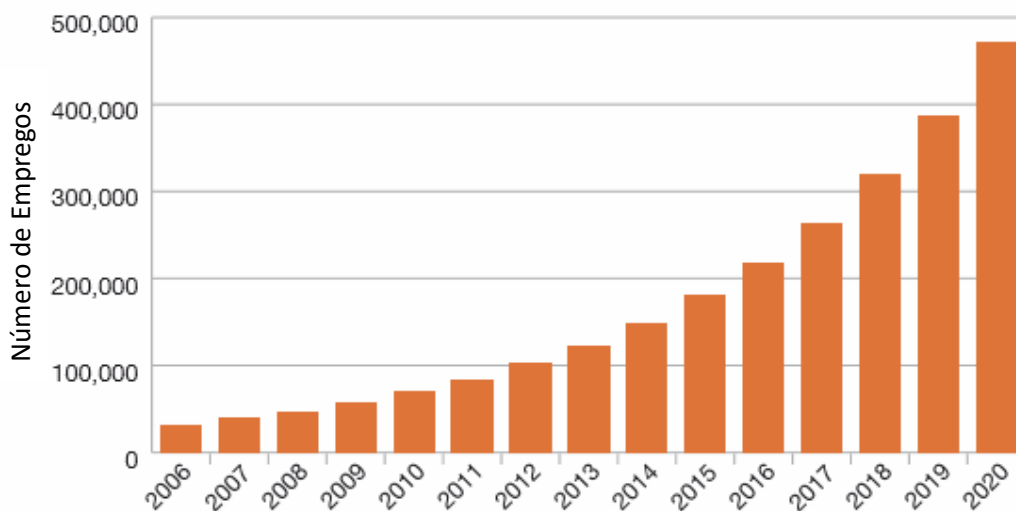


Figura 2: Número de empregos no setor solar térmico de acordo com o cenário RDP [adaptado de 11].

Como se pode constatar na figura anterior, o setor da energia solar térmica na economia europeia terá um impacto positivo através da criação de postos de trabalho, sendo espectável um aumento consistente até ao ano 2020.

A figura 3 representa a contribuição do setor solar térmico na redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

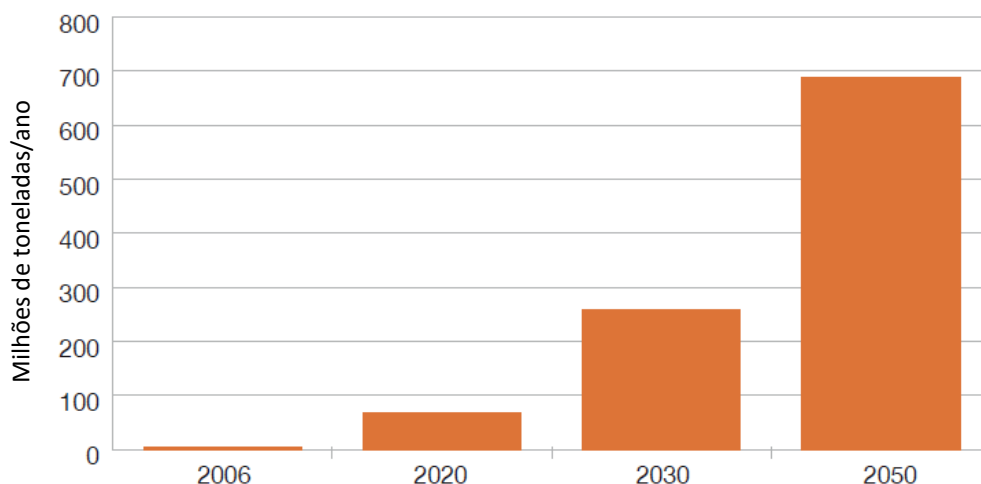


Figura 3: Contribuição do setor solar térmico na redução das emissões de CO<sub>2</sub> no cenário RDP [adaptado de 11].

Tendo em conta a crescente preocupação ambiental, os esforços para minimizar a emissão de agentes poluentes são cada vez mais significativos. Posto isto, os dados apresentados na figura 3 servem para salientar a importância da energia solar térmica no mercado energético. Mesmo tendo em atenção que é considerado o melhor cenário possível (RDP), é de notar a redução substancial das emissões de CO<sub>2</sub> no valor de 50 milhões de toneladas por ano, já entre 2006 e a meta de 2020, e muito mais nos anos que se seguem [11]. Isto acontece porque uma parcela de consumo energético derivado de combustíveis fósseis vai sendo substituída por uma fonte de energia limpa. Olhando para uma perspetiva mais atual, os dados de 2014 apontam para uma redução do consumo no mercado solar térmico europeu de 7% em relação ao ano anterior [13]. Tendo em conta a forma como o mercado tem evoluído nos últimos anos, e o seu recente agravamento, mantendo-se esta situação, as metas propostas para o ano 2020 não serão cumpridas [12]. A contração do mercado solar térmico registada deve-se sobretudo à crise económica, à descida dos preços dos combustíveis fósseis, à competição com outras fontes de energia renovável e à falta de apoios governamentais [12]. No entanto, apesar do panorama geral existem casos positivos, como no mercado grego onde se registou um crescimento de 18,9%, especialmente devido à instalação de sistemas de aquecimento de água no setor turístico.

Num estudo publicado pela ESTIF, é previsto que as necessidades energéticas totais do grupo dos 27 países membro da União Europeia no ano de 2020 seja de 12403 TWh, sendo que a parcela de utilização de energias renováveis correspondente ao objetivo de 20% no mesmo ano é de 2481 TWh [13].

Na tabela 1 é possível verificar para cada cenário (RDP, AMD e BAU) a percentagem de impacto do setor solar térmico na parcela de 20% de energias renováveis e o correspondente valor em relação aos 2481 TWh projetados.

Tabela 1- Nível de atuação do setor solar térmico previsto para satisfazer as necessidades energéticas no ano 2020 [13].

Contribuição do setor solar térmico nos cenários:	TWh	Contribuição do setor solar térmico no alvo de 20% para energias renováveis
RDP	155,2	6,3%
AMD	59,03	2,4%
BAU	37,72	1,5%

Analisando a tabela, no melhor dos casos correspondente ao cenário RDP, o valor energético 155,2 TWh será representativo 6,3% na contribuição do setor solar térmico para o objetivo de 20% de utilização de energias renováveis nos países membros da União Europeia, sendo já um valor significativo daquilo que se espera da energia solar térmica.

### 1.2.2 - Mercado Português

Na Figura 4 está representado um mapa da irradiação solar média anual na Europa em kWh/m<sup>2</sup>, baseado nos dados desde 2004 até 2010.

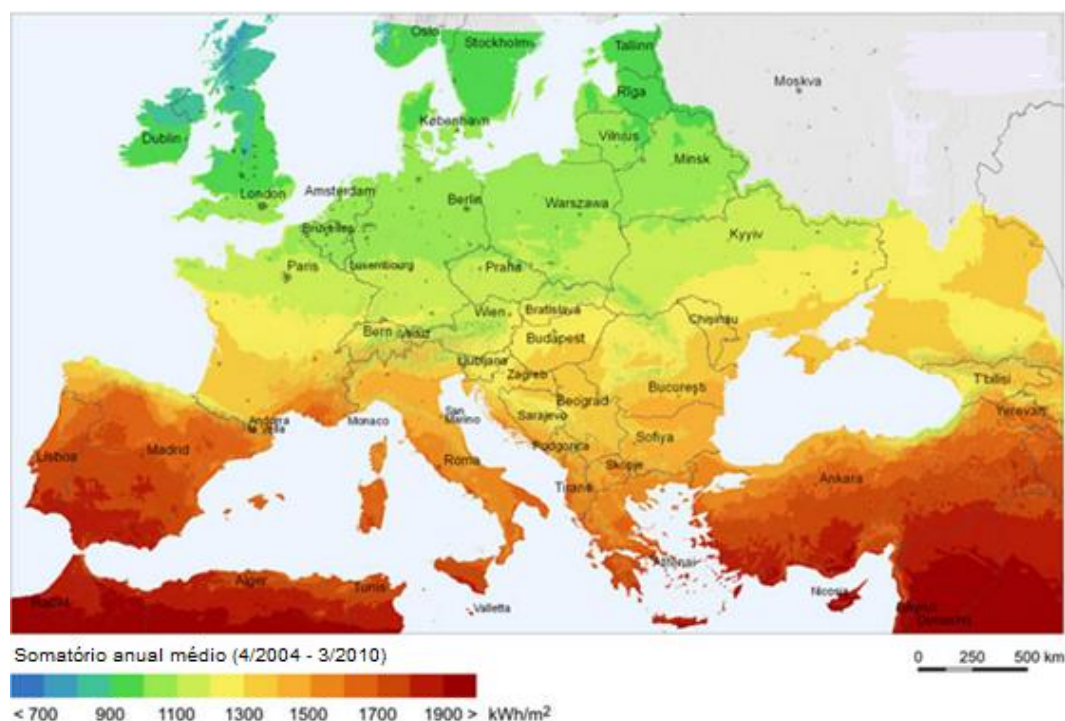


Figura 4: Mapa da irradiação solar média na Europa [adaptado de 14].

Apesar de Portugal ser um dos países mais favoráveis na União Europeia para o setor solar térmico, dados recentes apontam para uma redução de 11% entre 2013 e 2014 relativamente às novas instalações realizadas [12]. Este aspeto é justificado, à semelhança

do que acontece no resto da Europa, pela crise económica, em particular no setor da construção civil e pela falta de incentivos governamentais. Tendo em conta a capacidade instalada e a previsão de um modesto crescimento da construção nova que se fez notar no início de 2015, é espetável que a instalação anual se situe nos 55000 m<sup>2</sup> [12]. Contudo, para se atingirem os objetivos do setor traçados para o ano 2020, é necessário que as instalações anuais em Portugal atinjam os 150000 m<sup>2</sup> [12].

Apresenta-se na figura 5 a evolução do mercado solar térmico em Portugal em MW<sub>th</sub> e em m<sup>2</sup> de áreas total de instalações de coletores solares.

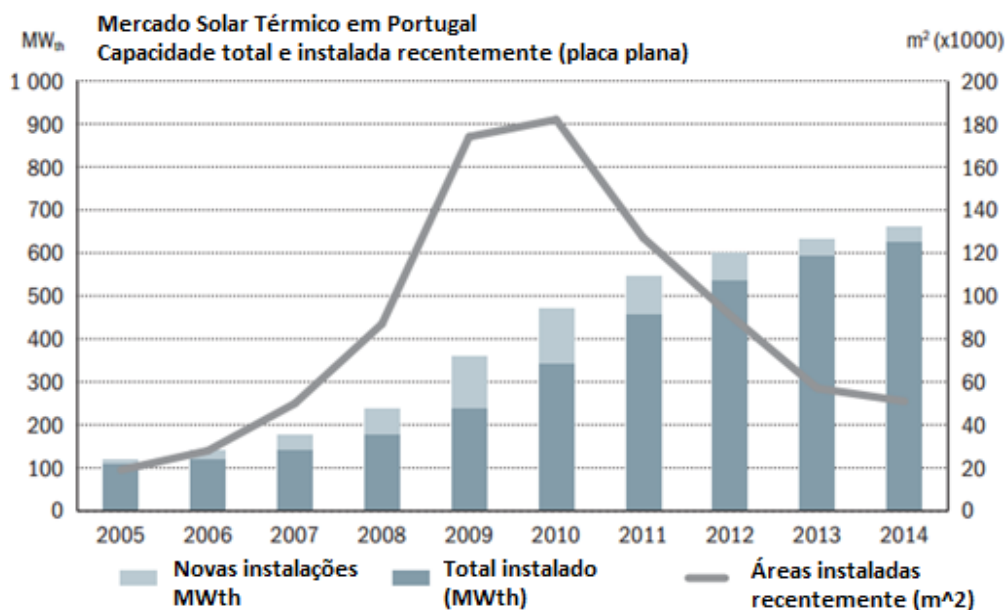


Figura 5: Evolução do mercado solar térmico em Portugal [adaptado de 12].

Entre 2005 e 2014 a capacidade solar térmica instalada em Portugal aumentou de 100 MW<sub>th</sub> para cerca de 620 MW<sub>th</sub>. O ano que ganhou mais em termos de novas instalações foi o de 2010 com cerca de 150 MW<sub>th</sub> de capacidade nova instalada. A partir daqui decresceu o valor da capacidade instalada em cada ano até ao valor mais baixo registado desde então, em 2014 com 30 MW<sub>th</sub> representando uma diminuição de 20% em comparação com 2010. As áreas instaladas recentemente verificaram uma subida entre 2005 e 2010, voltando a descer até 2014 ano no qual apenas 45 000 m<sup>2</sup> foram instalados.

Para analisar o papel que as energias renováveis têm e se espera virem a ter no setor energético em Portugal, seguem-se as tabelas 3, 4, 5 e 6 referentes à perspetiva global do consumo de energias renováveis, nos transportes, na eletricidade e no aquecimento/arrefecimento, respetivamente, no período de 2004 a 2013. Na Tabela 2 são

apresentadas as percentagens de contribuição de energias renováveis no consumo de energia total em Portugal.

Tabela 2- Consumo de energias renováveis em Portugal [15].

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Alvo 2020
19,2%	19,5%	20,8%	21,9%	23,0%	24,4%	24,2%	24,7%	25,0%	25,7%	31%

O grupo de energias renováveis considerado engloba a energia eólica, solar, hidráulica, biocombustíveis sólidos e outras fontes renováveis. Nota-se que está a ser registada uma progressão geral positiva no consumo de energias renováveis no país mas que se ainda se encontra longe de um alvo traçado em Portugal para o ano 2020 correspondente a 31% de energias renováveis.

A percentagem de energias renováveis direcionadas para o setor dos transportes em Portugal representa uma fração pouco significativa como se pode verificar na Tabela 3.

Tabela 3- Contribuição de energias renováveis nos transportes em Portugal [15].

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0,2%	0,2%	1,3%	2,2%	2,3%	3,6%	5,3%	0,4%	0,4%	0,7%

Pode-se observar um crescimento até 2010, seguido por um decréscimo acentuado. No entanto, perante os recentes objetivos traçados pelas entidades governamentais na Europa relativamente à redução da emissão de agentes poluentes para a atmosfera, é provável que surjam novas medidas de incentivo à utilização de energias renováveis no setor dos transportes.

A Tabela 4 apresenta a cota do consumo de eletricidade proveniente de fontes de energias renováveis em Portugal entre o ano 2004 e o ano 2013.

Tabela 4- Contribuição de energias renováveis utilizadas na eletricidade em Portugal [15].

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
27,5%	27,7%	29,3%	32,3%	34,1%	37,6%	40,7%	45,9%	47,6%	49,2%

É registada uma evolução positiva com o gradual aumento da parcela de eletricidade associada a energias renováveis em particular no ano de 2011, onde se verifica o maior aumento, na ordem dos 5,2%. De referir que, apesar de dentro das energias renováveis a maior parcela dizer respeito à energia hidráulica, esta sofreu quebras ao longo do espaço de tempo analisado segundo os dados publicados pela *Eurostat* [15], nomeadamente nos anos de 2012 e de 2013, ao passo que tanto a energia eólica como a solar registaram

sempre aumentos, o que leva a crer que, em anos futuros estas venham a exibir maior influência.

Por último, com os dados apresentados na Tabela 5, é possível avaliar a progressão da contribuição das energias renováveis para o arrefecimento e aquecimento entre 2004 e 2013.

Tabela 5-Parcela de energias renováveis utilizadas para arrefecimento e aquecimento em Portugal [15].

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
32,5%	32,1%	34,2%	35%	37,5%	38%	33,9%	35,2%	34%	34,5%

Analogamente ao que se verificou nos outros casos, a fração de energia renovável consumida para proceder ao arrefecimento e aquecimento em Portugal aumentou entre 2004 e 2013, mas não de forma constante, sofrendo algumas quebras ao longo dos anos observados. É no entanto de esperar que, com medidas recentes como por exemplo, a colocação obrigatória de coletores solares na construção nova, esta percentagem sofra um aumento nos próximos anos.

### **1.3 - Motivação para a dissertação**

O tema da presente dissertação surgiu como um seguimento do projeto de construção de uma instalação de testes e demonstração de ar condicionado com ejedor de geometria variável (SOLAC-TDF – *SOLar Air Conditioning Test Demonstration Facility*). Depois de concluídas as tarefas de teste de um ciclo de refrigeração com ejedor de geometria variável em ambiente laboratorial com simulação do campo solar com aquecedor elétrico procedeu-se a um conjunto de atividades que culminam numa SOLAC-TDF funcional. Esses testes passaram pela análise teórica do campo solar e carga de arrefecimento, *design* e construção do campo dos coletores, adaptação do ciclo de ejedor de geometria variável às condições de operação da SOLAC-TDF e desenvolvimento de uma plataforma de controlo. Concluídas estas tarefas, um sistema de monitorização surge como uma etapa lógica para se perceber como está a ser o desempenho da SOLAC-TDF.

A elaboração de um sistema de monitorização de um ar condicionado solar com ejedor de geometria variável é motivada pelas razões previamente referidas relativas ao seguimento de um projeto e enquadramento global das necessidades energéticas e preocupações ambientais numa perspetiva generalista. Por outro lado, num contexto académico e de inovação científica, o estudo de tecnologia cuja principal fonte energética é a radiação Solar e das suas diversas aplicações, como por exemplo na produção de energia elétrica, em aquecimento e, naquele que é o caso de estudo relacionado com o arrefecimento de espaços.

Em particular, a utilização de um ejedor de geometria variável num sistema de arrefecimento solar em substituição de um compressor de vapor convencional acarreta determinadas vantagens e/ou limitações que poderão ser de interesse e serão desenvolvidas mais à frente.

## **1.4 - Organização da dissertação**

A presente dissertação está dividida em seis capítulos. No primeiro é feita uma introdução, explicadas as situações do mercado da Europa e Portugal em relação às aplicações para as energias renováveis e tecnologias de ar-condicionado solar e reunidas as motivações para a elaboração deste trabalho.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica das tecnologias existentes, descritas as limitações e vantagens da tecnologia de arrefecimento com recurso a energia solar, explicado o funcionamento de um ejedor dando ênfase às suas condições de operação, características geométricas e fluído de trabalho.

No terceiro capítulo o objetivo é dar uma descrição clara da SOLAC-TDF, apresentando com fotografias e esquema os diferentes subsistemas que a constituem e dando pormenores acerca dos componentes mais relevantes.

No quarto capítulo trata-se do sistema de monitorização, começando por referir com que instrumentos isso se torna possível, seguido de uma explicação da plataforma de controlo existente no *software LabView*. Descrevem-se também as variáveis calculadas e apresentadas que têm o objetivo de monitorizar o sistema. É feita ainda uma descrição do sistema de monitorização, no caso, um *website* dizendo quais os *softwares*, explicação de códigos elaborados e dá-se uma ideia do aspeto final do mesmo.

No quinto capítulo é feita uma discussão de resultados obtidos para testes feitos em dois dias diferentes. Apresentam-se várias *screenshots* do *website* e os valores obtidos pelo sistema de monitorização.

Por fim, no sexto capítulo, desenvolvem-se as conclusões a que se chegou depois da elaboração do trabalho.



## **Capítulo 2**

### **Revisão Bibliográfica**

Neste capítulo é realizada uma revisão bibliográfica para contextualizar o tema da presente dissertação. Descrevem-se os vários tipos de sistemas de ar-condicionado com energia solar, apresentando as suas principais vantagens e limitações. Referem-se ainda algumas recomendações para que o tipo de sistema em estudo seja implementado em maior escala. Descreve-se o funcionamento de um ejedor de geometria variável dando pormenores sobre as suas condições de funcionamento, características geométricas e seleção do fluído de trabalho nele utilizado.

#### **2.1 - Classificação de sistemas de ar-condicionado com energia solar**

As questões ambientais são alvo de grande preocupação a nível global, intensificando-se a procura por soluções amigas do ambiente através nomeadamente da utilização de energias renováveis para as tecnologias utilizadas na garantia de conforto. Os sistemas de climatização, para além de terem que cumprir o objetivo de garantia de conforto no interior dos edifícios, têm também que ser desenvolvidos com atenção a determinados aspetos: económico, ambiental e a crescente preocupação com a qualidade do ar interior [4].

Os sistemas de arrefecimento solares baseiam-se na remoção de calor de uma fonte que se encontra a uma temperatura inferior (espaço climatizado) e libertar o calor removido para uma fonte quente a uma temperatura superior (ambiente). Esta transição é termodinamicamente contraditória impondo-se por isso a necessidade de existir uma máquina para bombear o calor [16].

Existe uma grande variedade de sistemas de arrefecimento com recurso a energia solar, podendo ser classificados como se vê na Figura 6, de acordo com as formas de energia utilizadas para acionar o sistema, sejam elas elétricas (através de painéis PV) ou térmicas (através de coletores solares térmicos).

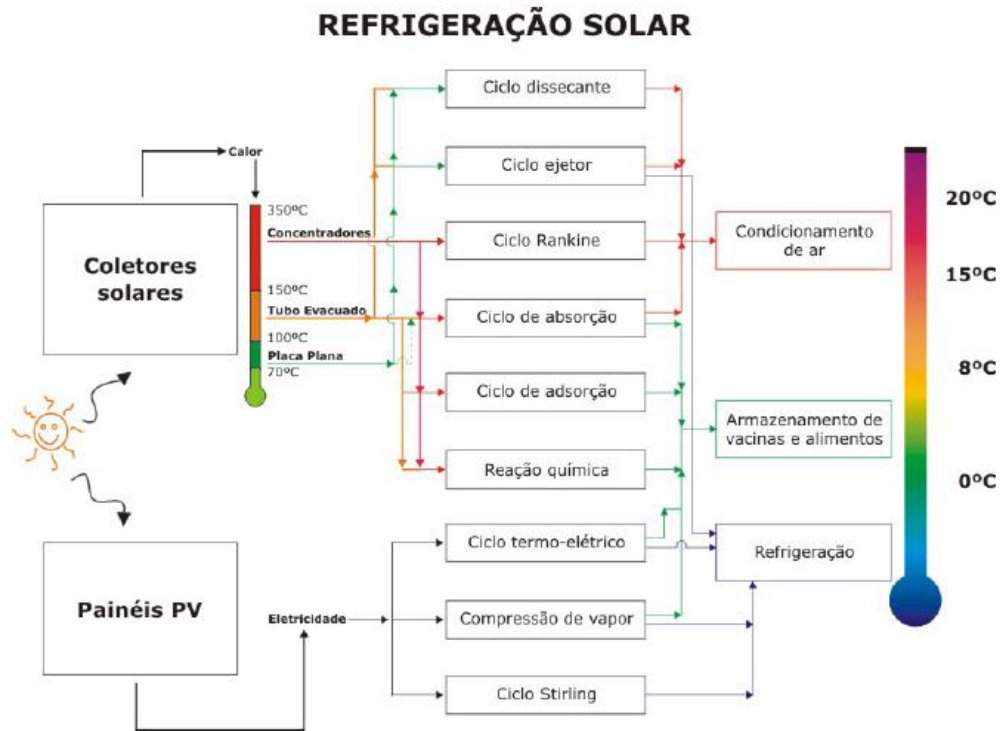


Figura 6: Classificação das tecnologias de refrigeração solar [adaptado de 17].

Os sistemas acionados termicamente podem ter coletores solares do tipo placa plana, tubos de vácuo ou concentradores. Dependendo de cada tipo de coletor, a temperatura de saída da fonte de calor varia, sendo de 70-100 °C para placa plana, 100-150 °C para os de tubo de vácuo e de 150 a 350 °C para os concentradores. São aplicados consoante a temperatura da fonte fria. Até 0 °C os sistemas são utilizados em refrigeração (compressão de vapor, Stirling e termoelétrico), armazenamento de vacinas e alimentos para temperaturas da fonte fria entre 0 e 8 °C (ciclos de reação química, de adsorção, de absorção e termoelétricos) e para condicionamento de ar com temperaturas da fonte fria entre 8 e 20 °C (ciclo dissecante, ejetor, Rankine e de absorção). Na Tabela 6 são discriminadas as temperaturas de saída da fonte de calor, COP, COP<sub>solar</sub> e tipo de coletor dos sistemas mencionados.

Tabela 6 – Desempenho e tipos de coletor das diversas tecnologias de ar-condicionado solar [18]

Classificação do sistema de arrefecimento solar		Temperatura de saída da fonte de calor [°C]	COP	COP <sub>solar</sub>	Tipo de coletor
Acionados eletricamente		-	3-3,45	0,3-0,75	Painéis PV
Acionados termicamente					
Ciclo de absorção	Efeito simples	85	0,7	0,35	Placa plana

	Efeito duplo	130	1,25	0,62	Placa plana/Tubos de vácuo
	Efeito triplo	220	1,7	0,85	Tubos de vácuo/Concentradores
	Efeito variável	95-120	0,69-1,08	0,35-0,5	Placa plana/Tubos de vácuo
Ciclo de adsorção		60-165	0,3-0,7	0,15-0,35	Placa plana/Tubos de vácuo/Concentrador
Ciclo dissecante		60-95	0,3-0,51	0,15-0,26	Placa plana
Ciclo Rankine		60-160	0,1-0,75	0,05-0,38	Placa plana/Tubos de vácuo/Concentrador
Ciclo ejedor		60-160	0,1-0,62	0,05-0,31	Placa plana/Tubos de vácuo

No caso dos sistemas acionados eletricamente, o mais comum segue o princípio de ciclo de compressão de vapor empregando um sistema fotovoltaico (PV). Essencialmente, a radiação solar captada em painéis fotovoltaicos é convertida em energia elétrica que irá alimentar sistemas convencionais de arrefecimento. Embora estes sistemas apresentem valores de COP elevados (3-3,45) ainda representam um elevado custo inicial e a energia elétrica gerada é ainda mais cara do que a energia da rede, gerada de forma convencional [19]. Ainda usando a eletricidade produzida pelos painéis PV podem ser empregues ciclos termoelétricos e de *Stirling*.

No caso dos sistemas acionados termicamente é comum aplicar o calor útil proveniente dos coletores solares em ciclos dissecantes, de ejedor, de Rankine, de absorção e de adsorção.

Os sistemas de absorção operam silenciosamente, com elevada fiabilidade, sem necessidade de fonte de energia auxiliar, mecanismo de controlo simples, fácil implementação e apresentam uma fonte de calor a baixa temperatura. Contudo, têm custos de instalação elevados, requerem manutenção especializada devido à sua complexidade e libertam grandes quantidades de calor para o ambiente [18].

Os sistemas de adsorção apresentam baixos custos de manutenção, não têm partes móveis e a fonte de calor é de baixa temperatura. Têm, porém, baixo COP (entre 0,3 e 0,7), são volumosos e os adsorventes têm baixa condutibilidade térmica [18].

No caso dos sistemas dissecantes, o facto de se usar água como fluído de trabalho é vantajoso do ponto de vista ambiental e libertam baixas quantidades de calor para o ambiente quando é utilizado um dissecante líquido. Apresentam o risco de cristalização quando é utilizado um dissecante líquido, requererem um desumidificador, são de *design* complexo e o seu controlo comporta uma estratégia apertada. Tem ainda valores de COP entre 0,3 e 0,51 [18].

Estudos efetuados pela ESTIF em 2006 ou por *Sparber BW et al* em 2009 [20] referem que grande parte dos sistemas de arrefecimento solar na Europa são ciclos de absorção, aspeto possivelmente motivado pelo grande número de vantagens quando comparado

com os outros sistemas. Os processos de arrefecimento por absorção podem ser descritos através das seguintes etapas [21]:

- Um gerador, um absorvente e uma bomba contribuem para comprimir o vapor de um refrigerante;
- Este vapor é depois conduzido, graças a um evaporador, para um absorvente por absorção;
- Energia térmica separa o vapor refrigerado da mistura que se forma na absorção;
- Um condensador condensa o refrigerante ao rejeitar o calor;
- O ciclo termina com o líquido refrigerante a ser expandido pelo evaporador.

Informações mais detalhadas sobre os sistemas acima referidos podem ser encontrados nas referências [4,11,18,20]. O subcapítulo seguinte pretende descrever o sistema de ar condicionado solar com ciclo de ejedor.

## **2.2. Tecnologia de Refrigeração Solar com Ejedor**

Como foi já mencionado, o tema do trabalho em questão diz respeito à tecnologia de refrigeração solar com ejedor, enquadrando-se esta na categoria de sistemas de refrigeração solar termomecânicos. A tecnologia de refrigeração solar com ejedor é alimentada por energia térmica de baixo nível. Estes sistemas são em tudo semelhantes aos sistemas convencionais de arrefecimento com compressão de vapor, e distinguem-se ao substituir o compressor por um gerador, um ejedor (muitas vezes considerado um compressor a energia térmica) e uma bomba mecânica.

Essencialmente, o sistema é constituído por duas fontes de calor, um gerador a alta pressão e temperatura e um evaporador a baixa pressão e temperatura, um evaporador, um ejedor, um condensador, uma bomba de circulação e uma válvula de expansão [22]. A representação esquemática da maneira de como estes componentes estão ordenados e funcionam é demonstrada na Figura 7. O arrefecimento com ejedor poderá ser de relevância uma vez que apresenta custos de instalação relativamente baixos, são de construção simples e têm uma boa durabilidade.

Uma representação no diagrama  $p-h$  do ciclo de refrigeração está representado na Figura 7b.

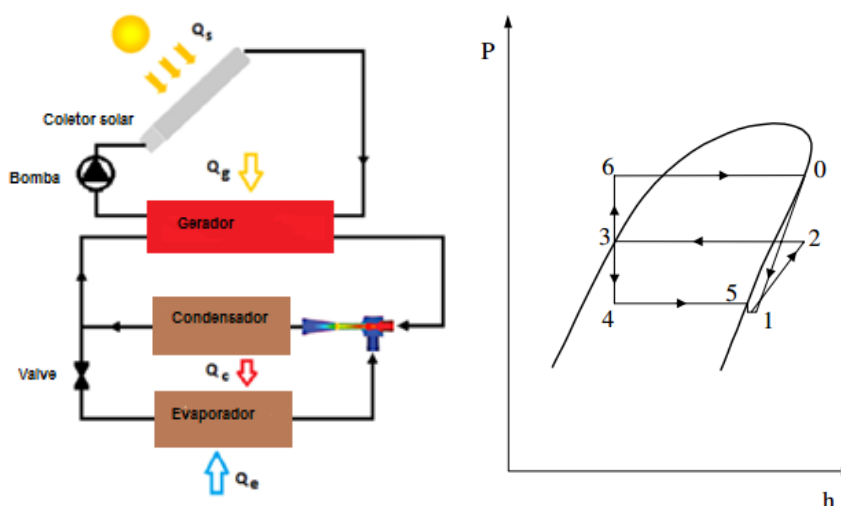


Figura 7: a) Ciclo de refrigeração solar com ejedor [adaptado de 22].; b) Diagrama p-h do ciclo de refrigeração. [adaptado de 23].

O fluido de trabalho do ciclo de refrigeração, o isobutano (R600a), no estado de vapor a elevada temperatura e pressão (ponto 0) proveniente de um gerador de vapor alimentado com recurso a energia solar térmica. Este vapor entra no ejedor onde expande o que baixa a sua pressão provocando a sucção do fluido secundário que se encontra também em vapor (ponto 1). Os dois fluidos são misturados na câmara de mistura do ejedor, sendo posteriormente comprimido até à pressão do condensador (ponto 2). Depois da sua passagem pelo condensador, o fluido de mistura condensa até líquido saturado (ponto 3) rejeitando calor para a vizinhança através do subsistema de dissipação. A partir daqui, o fluido pode tomar um de dois caminhos: ou entra no evaporador através de uma válvula de expansão (situada entre os pontos 3 e 4) ou regressa até à entrada do gerador de vapor (ponto 6) fazendo uso da bomba. O fluido (a baixa temperatura) produz o efeito de arrefecimento ao passar no evaporador ao absorver calor do espaço a climatizar [23].

### 2.3. Funcionamento do ejedor

O ejedor, ver Figura 8, utiliza um fluido primário com elevadas temperaturas e pressão para comprimir um fluido secundário de baixas pressões e temperatura.

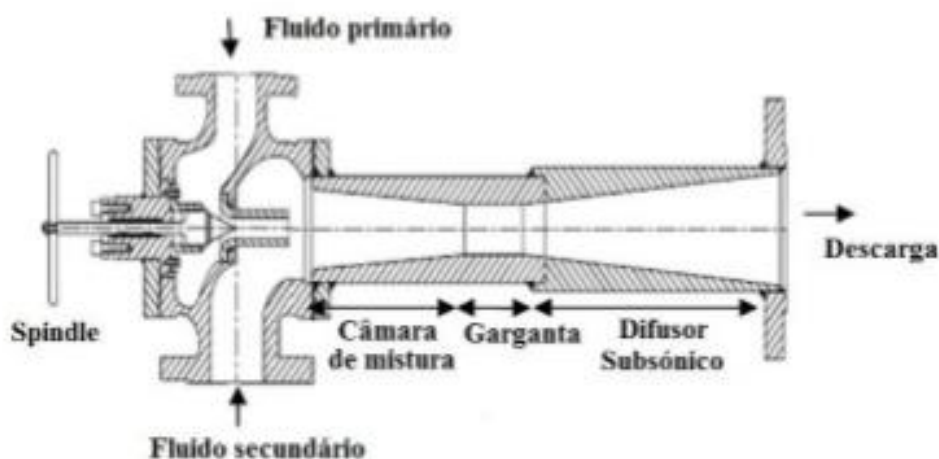


Figura 8 - Ejetor de geometria variável [adaptado de 24]

O fluido primário vaporiza num gerador de vapor a elevada temperatura e pressão com recurso ao calor do subsistema solar e é conduzido até à entrada primária do ejetor (*nozzle* primário), expandindo-se a velocidade supersónica. Na saída do *nozzle* é então criada uma zona de baixa pressão, que provoca a sucção do fluido secundário proveniente do evaporador até à câmara de sucção. O fluido secundário é então acelerado até velocidades sónicas (“choked”) à medida que o primário perde velocidade devido às tensões de corte originadas na interface de ligação entre os dois fluidos. Após o fluido secundário atingir velocidades sónicas ( $Mach=1$ ), mistura-se com o primário na câmara de mistura a pressão constante até à entrada da garganta. Esta mistura ocorre quando a pressão do fluido primário e secundário atingem equilíbrio e é afetada por uma onda de choque transversal durante a sua passagem pela garganta, de secção constante. Um aumento rápido da pressão da mistura e uma diminuição da velocidade da mesma para valores subsónicos são as razões para a tal onda de choque. No difusor subsónico comprime-se a mistura até às condições do condensador, fazendo com que parte da energia cinética da mistura seja convertida em pressão estática o que permite a exclusão do tradicional compressor elétrico no ciclo de refrigeração a vapor convencional. A evolução da pressão dos dois fluidos nas diferentes zonas do ejetor está visível na Figura 9.

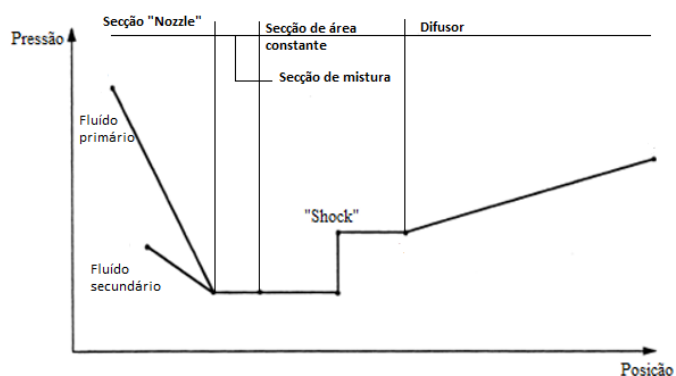


Figura 9 – Pressão dos fluidos primário e secundário em relação à sua posição no ejetor (adaptado de [25] [26]).

A performance do ejedor é medida pela razão de sucção calculada como o quociente entre o caudal mássico secundário e o caudal mássico primário e pelo COP do ejedor que se calcula como o quociente entre a potência produzida no evaporador e a potência no gerador, equações 2.1 e 2.2.

$$COP_{eje} = \lambda * \frac{\Delta h_e}{\Delta h_g} \quad (2.1)$$

$$\lambda = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_g} \quad (2.2)$$

As condições de operação de temperatura e pressão no gerador, condensador e evaporador influenciam o desempenho do ciclo do ejedor. O COP aumenta com a temperatura do gerador e evaporador e diminui com a temperatura do condensador caso seja possível otimizar as dimensões do ejedor em função das condições operativas. Aumentando a temperatura do gerador diminui-se o rendimento dos coletores e como consequência do rendimento global do sistema. No caso de um determinado ejedor com dimensões fixas (a operar em condições pós-desenho), não sendo possível de otimização das suas dimensões em função das condições operativas, verifica-se que a um aumento da temperatura do gerador corresponde uma diminuição do COP isto porque um aumento da pressão no gerador origina um aumento do caudal do fluido primário e sendo que o caudal de fluido secundário permanece sensivelmente o mesmo, diminui-se o COP e a razão de sucção. Em relação à temperatura do condensador, o seu aumento resulta numa redução do COP num ejedor em que se consegue ainda melhorar as dimensões em função das condições de operação. Caso seja um ejedor de geometria fixa existe um valor crítico da pressão do condensador que não deve ser ultrapassado a custo de uma gradual diminuição do COP.

Na Figura 10 está representada a relação do  $\lambda$  do ciclo ejedor com a pressão no condensador onde se podem observar três distintas condições de operação, *Double Choking*, *Primary Choking* e *Reverse Flow*.

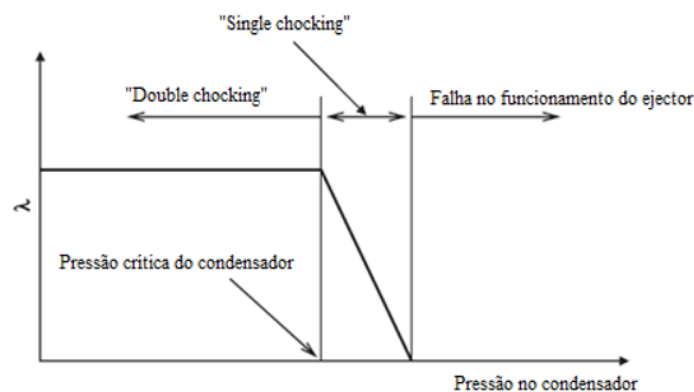


Figura 10 - Condições operacionais num ejedor de geometria fixa (adaptado de [25,26]).

Na região de *Double Choking* verifica-se que o COP e efeito frigorífico se mantêm constantes sendo independentes da pressão do condensador que é inferior ao valor crítico (pressão para a qual o sistema apresenta este comportamento) uma vez que o fluido

secundário atinge a velocidade sónica. Na região de *Single Choking* existe uma redução progressiva do COP com o aumento da pressão do condensador para além dos valores críticos, sendo que o fluido secundário não atinge velocidade sónica. Existe portanto uma diminuição deste fluxo e consequentemente diminuição da razão de sucção. A falha no funcionamento do ejedor acontece quando se continua a aumentar a pressão no condensador até o caudal secundário tende a inverter o seu percurso, de volta ao gerador.

As características geométricas do ejedor influenciam a sua *performance*. A razão de áreas é calculada como o quociente entre a área com secção constante e a área da garganta do *nozzle* primário:

$$r_A = \frac{A_c}{A_n} \quad (2.3)$$

A um aumento da razão de áreas corresponde um aumento da razão de sucção e diminuição da pressão crítica do condensador para pressões no primário e secundário constante (Figura 11).

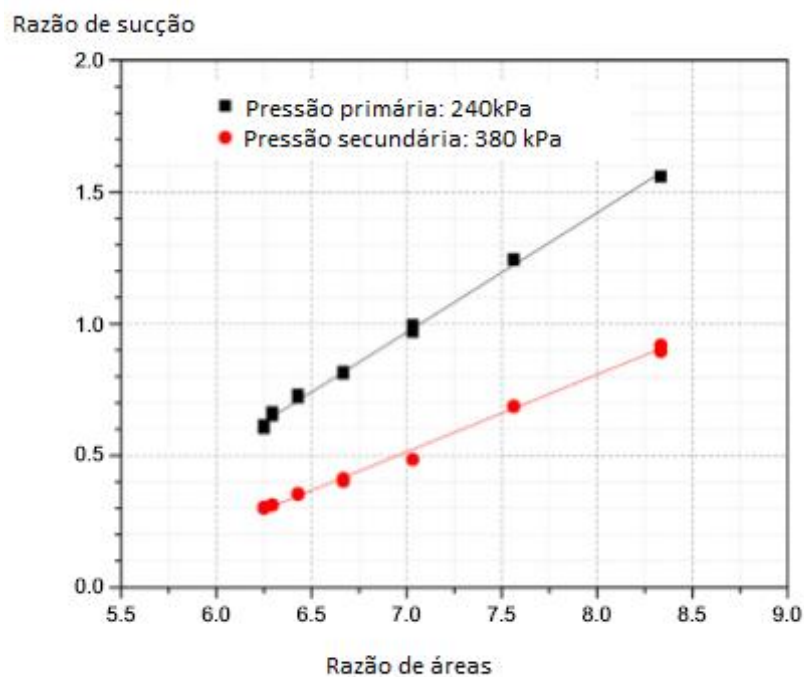


Figura 11 - Razão de sucção em função da razão de áreas para os fluídos primário e secundário [adaptado de 27]

Nos ejetores de geometria variável com o avanço ou recuo do *spindle* altera-se a área de entrada do fluido primário e consequentemente o caudal primário admitido como se pode ver Figura 12. À medida que se move o *spindle* para a frente, a área da garganta do *nozzle* diminui e a razão de áreas aumenta.



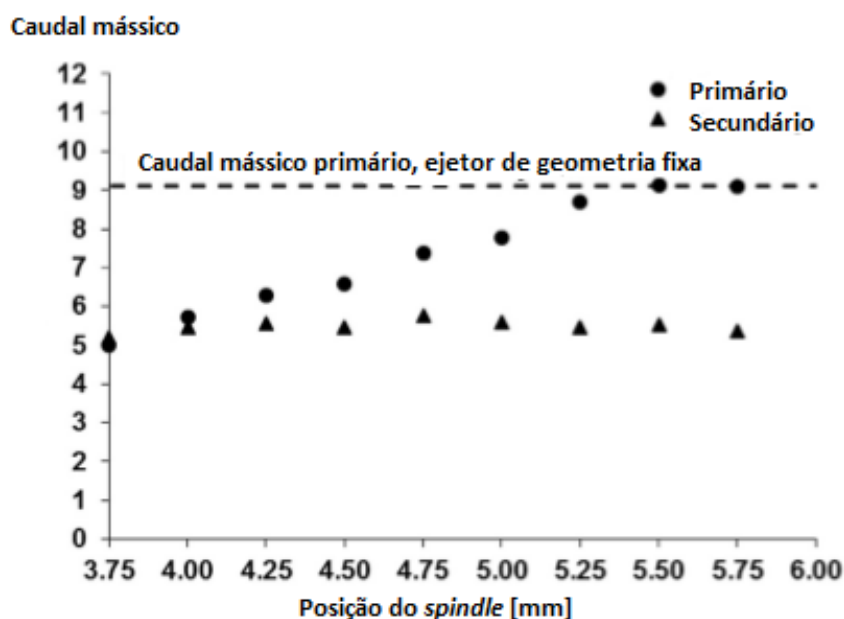


Figura 12 - Caudal mássico primário e secundário em relação à posição do spindle [28]

Outro fator geométrico relevante é a posição de saída do *nozzle* (NXP) que corresponde à distância entre o ponto de saída do *nozzle* primário até à entrada da secção de área constante. Quanto mais o bocal (ou *nozzle*) primário está no interior da câmara de mistura de secção constante, menor será o  $\lambda$  e o efeito frigorífico, como se pode ver na Figura 13.

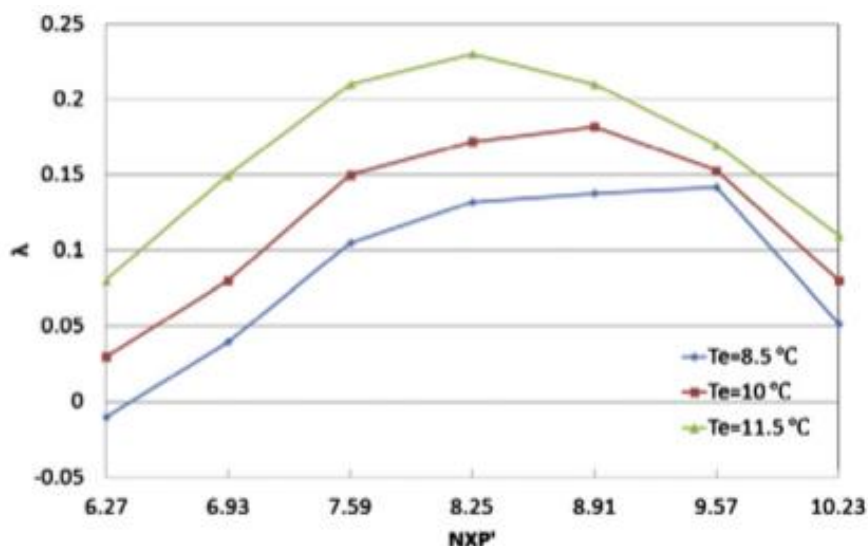


Figura 13 - Razão de sucção em função do NXP para diferentes temperaturas no evaporador [29]

O NXP deve ser ajustado de forma a maximizar a *performance* do ejetor para as condições de operação diferentes das do desenho.

O comprimento da secção de área constante é outro fator geométrico que influencia o funcionamento do ejetor. A razão de sucção mantém-se praticamente inalterada com a

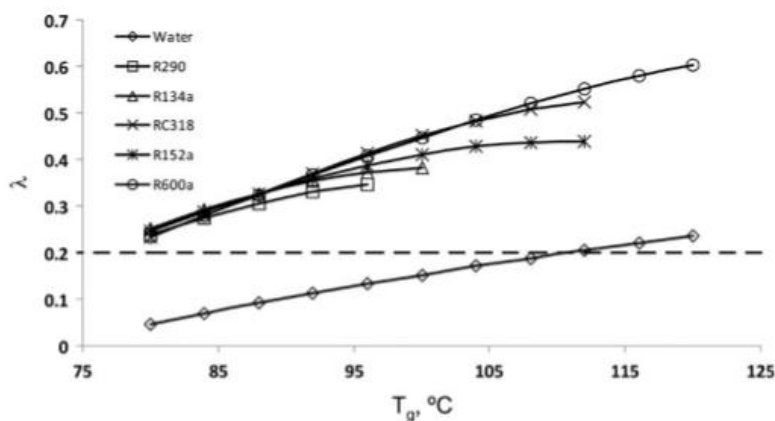
variação do comprimento da secção de área constante, que influencia o valor da pressão do condensador. Aumentando-se este comprimento aumenta-se também a pressão que se consegue no condensador.

O fluido de trabalho revela-se essencial no projeto de desenho de um ejedor, podendo alterar significativamente a sua *performance*. Devem ser considerados alguns critérios para a escolha do fluido de trabalho [30]:

- Não deverá ser tóxico nem inflamável.
- Deverá apresentar baixo custo.
- Deverá escolher-se um fluido que consiga não comprometer o desempenho ao ser amigo do ambiente.
- Deverá ter calor latente de vaporização elevado por forma a diminuir o caudal necessário para produzir a mesma quantidade de refrigeração
- Deverá apresentar baixa pressão à entrada do gerador com o intuito de reduzir o trabalho na bomba.
- Deverá apresentar baixo volume específico no estado de vapor.
- Deverá ser um fluido seco que apresentem uma inclinação positiva na linha de vapor saturado no diagrama  $T-s$ .
- Deverá apresentar elevada temperatura e consequente pressão crítica do condensador.
- Deverá ter propriedades de condutibilidade térmica e viscosidade que facilitem a transferência de calor.
- Deverá ser de fácil aquisição.

No estudo realizado por *Varga et al* [30], conclui-se que de entre os 6 estudados, o R600a foi aquele que apresentou melhores valores de razão de sucção, ver Figura 14a. Em relação ao COP o fluido mais promissor foi o R152a, ver Figura 14b. Usar água confirmou ser a pior das hipóteses.

a)



b)

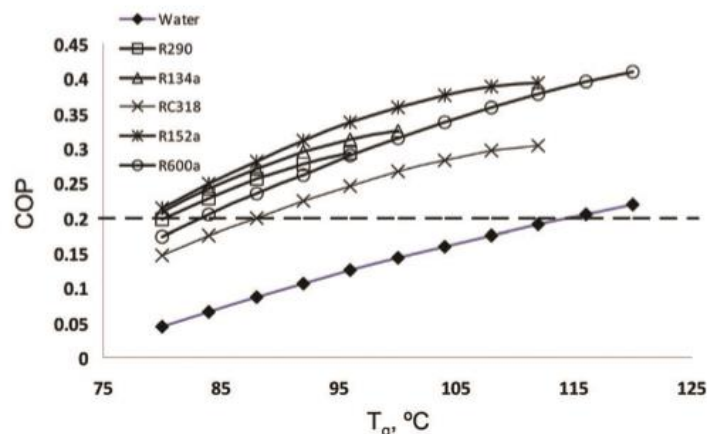


Figura 14 – a) Razão de sucção para diferentes temperaturas de gerador e fluidos; b) COP para diferentes temperaturas do gerador e fluidos [30]

O fluido escolhido para a utilização no ciclo ejedor foi o R600a. Apesar de não apresentar os melhores valores de COP, não representa tanto perigo para o ambiente como por exemplo os fluidos R290, R512a e R134a todos com melhores valores de COP mas que requerem uma construção mais forte e custosa devido às elevadas pressões no condensador e gerador que representam. Para além disso o R600a apresenta valores mais moderados nessas pressões sem comprometer significativamente a *performance* [31].

## 2.4. Vantagens e limitações da aplicação de um sistema de arrefecimento solar com ciclo ejedor

Os sistemas de refrigeração solar possuem diversos benefícios dos quais se salienta a diminuição do consumo de combustíveis fósseis, o que resulta numa redução dos gastos com o consumo energético deste setor (interesse económico) e numa consequente minimização do impacto ambiental. Em particular, a instalação em estudo relativa a sistemas de arrefecimento termomecânico com recurso a ciclo ejedor, apresenta algumas vantagens que possivelmente justificam o interesse em investir no seu desenvolvimento [18]:

- Simplicidade construtiva;
- Ausência de partes móveis;
- Fonte de energia térmica a baixas temperaturas;

Os sistemas de arrefecimento com recurso a energia solar apresentam ainda algumas limitações de algum relevo que impossibilitam uma rápida dispersão destes no mercado [22, 32]:

- O investimento inicial faz com que este tipo de sistema ainda não seja competitivo;

- Baixa *performance* quando comparada com aquela que se pode esperar dos sistemas convencionais;
- Longo período de retorno do investimento;
- Ainda não estão definidos mercados-alvo e potenciais clientes como por exemplo determinados edifícios industriais e comerciais;
- Falta de investidores.

Algumas barreiras de carácter tecnológicas estarão ainda por ultrapassar como as seguintes [22, 32]:

- Complexidade dos sistemas (adaptação do ejedor às condições operacionais);
- Falta de demonstração do funcionamento e *performance* do sistema;
- Disponibilidade dos componentes-chave.

Outras limitações [22, 32]:

- Variação das condições climáticas dificulta a standardização;
- Disponibilidade do espaço para instalação de coletores solares térmicos;
- Falta de conhecimento sobre as vantagens que os sistemas de arrefecimento solar trazem para o ambiente.
- Baixo custo operacional.

## **2.5. Recomendações para uma mais rápida implementação dos sistemas de arrefecimento solar com ciclo ejedor no mercado**

Ao que tudo indica, os sistemas de refrigeração solar ainda não são capazes de competir com os sistemas convencionais de refrigeração, nem o serão tão cedo se os preços dos combustíveis fósseis continuarem a descer e se as políticas que lidam com este mercado se mantiverem as mesmas.

Posto isto, seguem-se algumas estratégias que possivelmente serão capazes de estimular a presença destes sistemas no mercado solar térmico [32].

- Aumentar a propaganda para que mais pessoas e potenciais consumidores tenham conhecimento sobre os sistemas;
- Alargar o número de demonstrações e projetos experimentais de modo a obter dados sobre o desempenho, com vista a complementar a informação o que permitirá desenvolver soluções para ultrapassar problemas e conduzir a um constante aperfeiçoamento;
- Incentivar a formação, tanto ao nível do pessoal técnico responsável pela instalação como nas escolas de engenharia.

## Capítulo 3

### **Apresentação do sistema de demonstração de ar-condicionado alimentado por energia solar.**

No presente capítulo pretende-se descrever o sistema SOLAC-TDF, que se encontra na cobertura do edifício do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto que tem como objetivo a demonstração da tecnologia de ar-condicionado solar. São descritos os componentes principais da mesma que podem ser agrupados em 4 subsistemas: subsistema solar, subsistema de refrigeração com ejedor de geometria variável, subsistema de arrefecimento e aquecimento e subsistema de dissipação. A instalação SOLAC-TDF é constituída por um campo de coletores solares, uma casa das máquinas que abriga o ciclo de refrigeração com ejedor de geometria variável, o sistema de distribuição de energia térmica e o espaço a climatizar (ver Figura 15). Todos os subsistemas encontram-se conectados com o do ejedor.

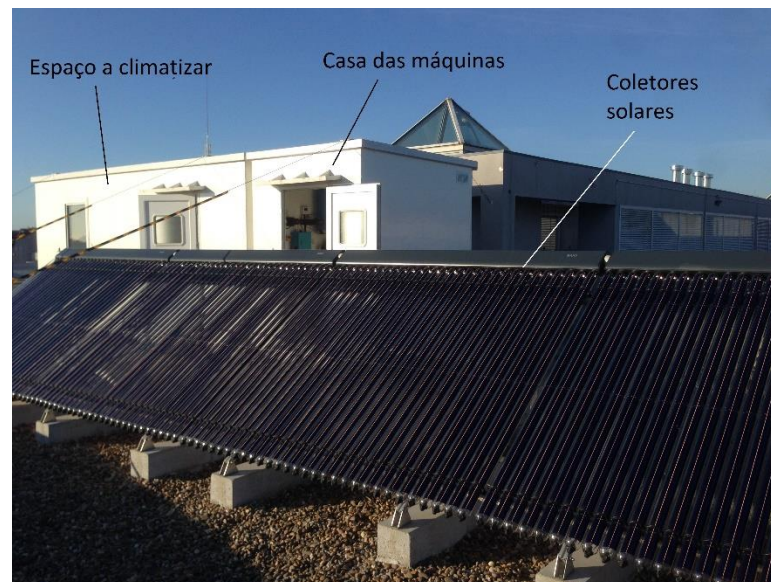


Figura 15 – Fotografia da SOLAC-TDF

### 3.1 - Subsistema solar

Os sistemas solares térmicos permitem o aquecimento de água através do aproveitamento da energia proveniente do Sol em forma de radiação. Tem como aplicações mais utilizadas nos dias de hoje o aquecimento de água em piscinas, produção de água quente em ambientes domésticos, apoio a aquecimento por piso radiante e algumas aplicações industriais para água quente [33]. Existem dois tipos de sistemas solares: o de termossifão e o de circulação forçada. A instalação em estudo contempla um sistema solar de circulação forçada (ver Figura 16). Este tipo de sistema tem o depósito no interior do edifício podendo ter um de apoio para os dias em que a radiação solar não atinge os coletores e não haver energia suficiente para aquecer a água de acordo com as necessidades.

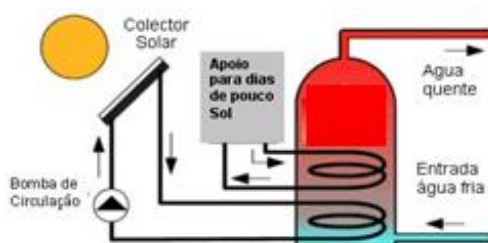


Figura 16 - Esquema de um sistema solar de circulação forçada [34].

O seu princípio de funcionamento inicia-se quando uma parte da radiação solar incide na placa absorvente dos coletores solares e a transfere para o fluído térmico a circular no interior dos tubos, no caso água. Da saída do coletor, a água quente é transportada até um acumulador (depósito de inércia) através de uma bomba de circulação [33, 34].

O subsistema solar é responsável pelo fornecimento de energia térmica da SOLAC-TDF, sendo constituído por um depósito de água, uma bomba, um circulador, os coletores solares, um vaso de expansão, um purgador, um caudalímetro e uma válvula de retenção. Um esquema com a ligação hidráulica entre os componentes do subsistema solar é apresentada na Figura 17.



Figura 17 – Esquema do campo solar da instalação [35]

Os coletores solares são do tipo tubos de vácuo e apresentam um rendimento de cerca de 70% para uma temperatura ambiente de 22°C, temperatura de entrada da água de 65°C, radiação solar de 800W/m<sup>2</sup> e caudal de água de 0,25 l/min por tubo. Quatro coletores AR 30, do fabricante BAXIROCA, ligados em série perfazem uma potência calorífica total de aproximadamente 7,4kW e cada um apresenta uma área de captação de 3,228 m<sup>2</sup> por coletor (ver Figura 18) [36].



Figura 18 - Fotografia de pormenor de um coletor solar AR 30 da BAXIROCA

O acumulador (Figura 19) é o responsável pelo armazenamento de energia térmica devendo portanto apresentar um bom isolamento térmico assegurado no caso através de espuma de poliuretano flexível [31]. O depósito é também da BAXIROCA, modelo ASA 50 – IN com uma capacidade de 50 l fabricado em aço ao carbono, pesa 20 kg quando vazio e 70 kg quando cheio apresentando pressão máxima de 6 bar no seu interior [36].



Figura 19 – Fotografia do acumulador ASA 50 - IN da BAXIROCA

O vaso de expansão de capacidade de 50 l (ver Figura 20) é inserido no subsistema solar com o objetivo de compensar as dilatações da água provocadas pelo seu aquecimento. O



volume do vaso é dividido em dois compartimentos, um para a água e o outro para um gás (neste caso azoto), separados por uma membrana flexível. Durante a expansão volumica do fluido, um determinado volume de água entra no vaso de expansão comprimindo a bolsa de azoto até a um valor pré-definido da pressão da câmara de gás (máximo de 8 bar) [37].



Figura 20 - Fotografia do vaso de expansão Vasoflex/S 50 da BAXIROCA.

Durante o enchimento do sistema, bolhas de ar infiltram-se na instalação causando problemas como a diminuição de rendimento dos coletores, corrosão e diminuição da vida útil dos equipamentos. Por esta razão existem vários purgadores nos pontos mais altos do sistema (topo do vaso de expansão, saída dos coletores solares e conexão da válvula de expansão). Desde que exista uma pressão nos componentes superior à pressão atmosférica o ar não volta a entrar. O purgador FLAMCOVENT (Figura 21) foi concebido para que seja possível no seu interior a ascensão à câmara superior das micro bolhas, eliminando-as. O limite das condições de operação destes purgadores é de 10 bar e temperatura máxima de 200°C e apresenta uma máxima eficácia para uma velocidade da água de 0,7m/s [36].



Figura 21- Fotografia do purgador FLAMCOVENT da saída dos coletores solares.



Existe na instalação SOLAC-TDF um grupo hidráulico que regula e garante a segurança de circulação da água. Este grupo é composto por uma bomba, uma válvula de segurança, uma válvula de retenção e uma válvula que controla o caudal.

A bomba do tipo 1 (Figura 22) tem a função de circular água nos coletores com um determinado caudal e é do modelo SMX 25 da BAXIROCA, e trabalha com três velocidades. O caudal debitado é controlado pela válvula controladora acima referida.

O funcionamento da bomba acima referida é controlada através de uma central de controlo *Central Solar CS-10*, da BAXIROCA (Figura 23 ) [36]. Nesta central define-se o valor máximo para a temperatura de saída dos coletores e acumulador da água. Existe a possibilidade de conectar até 4 sondas PT 1000 para medições de temperatura. Tem um mostrador onde também podem ser vistos gráficos de energia solar incidente no tempo durante o funcionamento da SOLAC-TDF.

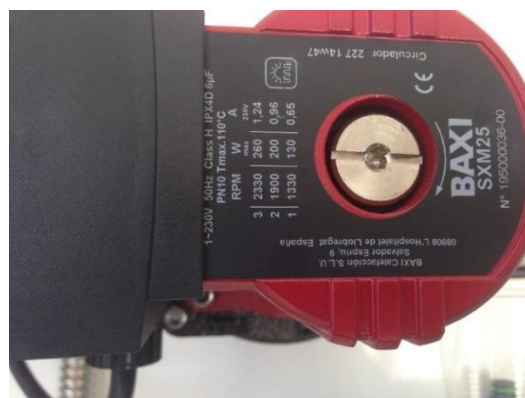


Figura 22 – Fotografia da bomba SXM 25.



Figura 23 - Central Solar CS-10

### **3.2 - Subsistema de refrigeração com ciclo ejedor de geometria variável**

Este subsistema é o responsável pela produção do frio utilizando a energia térmica produzida nos coletores solares. Um esquema deste subsistema está representado na Figura 24.

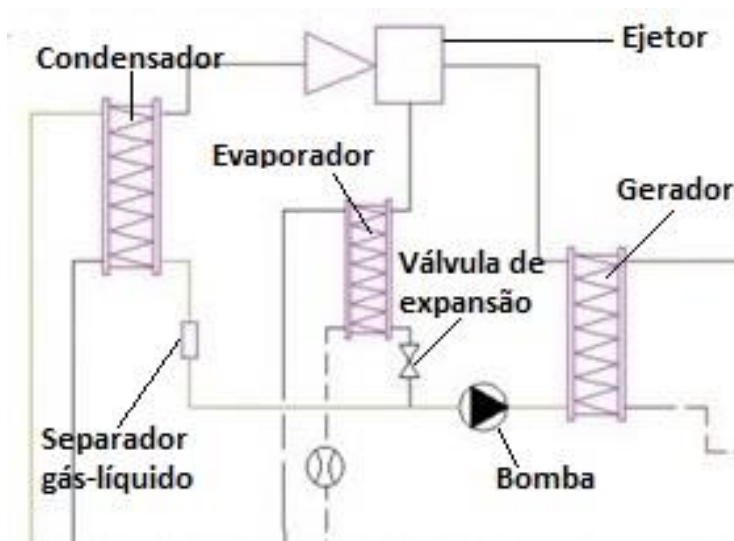


Figura 24 - Esquema do subciclo de refrigeração [35]

Deste subsistema fazem parte o ejedor de geometria variável, o gerador, o evaporador, o condensador, uma bomba, um separador de gás e uma válvula de expansão. O fluido de trabalho é o R600a (isobutano). No gerador o fluido é aquecido até se tornar vapor a alta pressão através de trocas de calor com a água quente proveniente de subciclo solar. Depois do gerador, o vapor a alta pressão e temperatura mistura-se com vapor obtido no evaporador e esta mistura é encaminhada para o condensador. Utiliza-se o ejedor para comprimir o vapor até sua utilização no condensador. No evaporador são efetuadas as trocas de calor que possibilitam o arrefecimento. No condensador pode-se dissipar a sobreprodução de energia.

A bomba (Figura 25) é do fabricante Fluid-o-Tech (modelo TMFRSS051V), do tipo palhetas rotativas com acionamento magnético. É construída em aço inoxidável, pesa 2,7kg, tem pressão máxima de trabalho de 20 bar e debita uma potência máxima de 250 W com uma temperatura máxima de 70°C. Este tipo de bombas operam a velocidades entre 1100 e 3500 rpm.

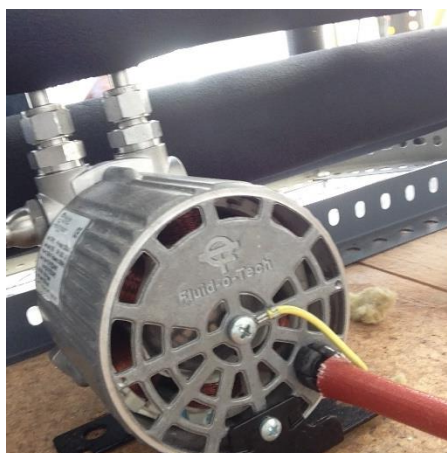


Figura 25 – Fotografia da bomba utilizada para o isobutano (Fluid-o-TECH, modelo TMFRSS051V)

As trocas de calor entre os dois fluídos da instalação, a água e o isobutano, são asseguradas por 4 permutadores de calor de placa (gerador, evaporador e condensador) da marca *Alfa Laval*. O gerador é constituído por duas peças, uma maior que é responsável pelas trocas de calor sensível e uma segunda mais pequena encarregue da troca de calor latente para a produção de vapor. Os 4 permutadores são fabricados em Liga 316 nos pratos com soldaduras de cobre e as suas principais características encontram-se na Tabela 7 [38].

Tabela 7 - Principais características dos permutadores de calor Alfa Laval

	<b>Gerador (calor sensível)</b>	<b>Gerador (calor latente)</b>	<b>Condensador</b>	<b>Evaporador</b>
<b>Área de transferência de calor (m<sup>2</sup>)</b>	0,23	0,16	1,04	0,35
<b>Tipo</b>	Contra- corrente	Contra- corrente	Contra-corrente	Contra- corrente
<b>Comprimento x largura x altura (mm)</b>	60x113x313	62x77x207	84x113x527	69x113x313
<b>Peso (kg)</b>	3,03	1,15	6,3	3,47

O ejedor de geometria variável (Figura 26) foi desenvolvido com o propósito de ser utilizado neste subsistema com energia proveniente do subsistema solar através das trocas de calor com a água no gerador. A posição do *spindle* e a posição de saída do bocal primário, os dois graus de liberdade deste componente podem ser controlados por dois motores colocados nas duas extremidades do ejedor do fabricante Haydon Kerk. O ejedor tem uma potência nominal de 1 kW. [3]



Figura 26 – Fotografia do ejedor de geometria variável e respetivos servomotores.

Um separador de gás-líquido (Figura 27) separa o fluído bifásico proveniente da saída do condensador e protege da bomba do ciclo de refrigeração permitindo verificar se na entrada desta o fluído se encontra em estado líquido ou de vapor. A cavitação é um problema que advém da presença de R600a no estado de vapor na entrada da bomba. Se o ciclo de refrigeração com ejedor se encontrar dentro do funcionamento, na saída do condensador (entrada da bomba) espera-se R600a líquido. O visor de vidro permite verificar o nível de fluído líquido.



Figura 27 – Fotografia do separador gás – líquido.

### **3.3 - Subsistema de arrefecimento/aquecimento**

O sistema de arrefecimento e aquecimento é responsável pela troca de energia entre o espaço a climatizar e as respetivas fontes instaladas na casa das máquinas. Pode funcionar em dois modos diferentes caso se queira aquecer ou arrefecer. A permuta entre os dois modos operacionais é assegurada através da comutação de uma válvula de três vias com servomotor, modelo SM-41 da BAXIROCA, como demonstra o esquema da Figura 27. Em necessidade de arrefecimento, o ventilo-convetor (FSTD-15 2T da DAITSU - Figura 29) dentro da sala é conectado ao subsistema do ciclo ejedor através do evaporador. Se for necessário aquecer a ligação ao mesmo ventiloconvetor é feita diretamente ao armazenador de calor. Uma válvula reguladora de caudal está colocada na entrada da bomba circuladora (BAXIROCA, Quantum ECO 1035) permitindo o controlo do seu caudal depois de definida a sua velocidade.

*Elaboração de um sistema de monitorização e análise de uma instalação de ar condicionado solar com ejeter de geometria variável*

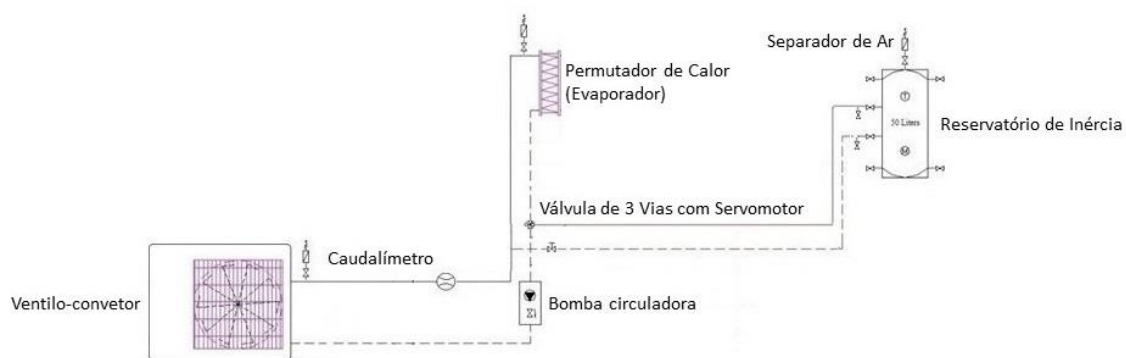


Figura 28 – Esquema do subsistema de aquecimento/arrefecimento [35].



Figura 29 – Fotografia do ventilo-convetor

### 3.4 - Subsistema de dissipação

O subsistema de dissipação (Figura 30) tem o objetivo de dissipar calor de outros dois subsistemas, do solar e do ciclo do ejeter.

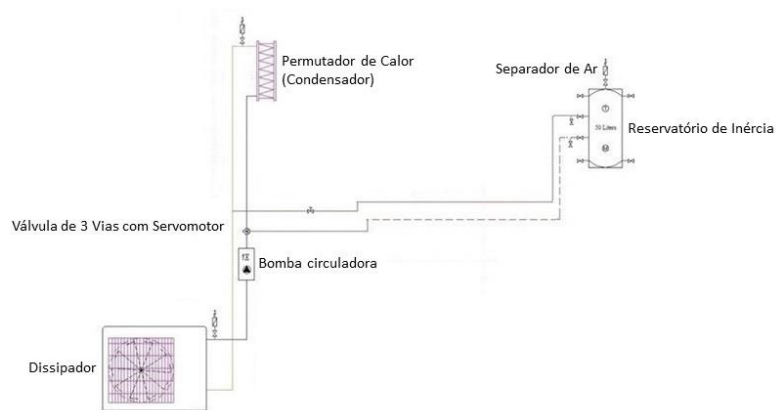


Figura 30 - Esquema do subsistema de dissipação [35]

É constituído por um dissipador (BAXIROCA, Unitermos UL-217 G), uma bomba circuladora (BAXIROCA, Quantum ECO 1045) uma válvula reguladora de caudal e uma válvula direcional de 3 vias. Assim, identificam-se dois modos de funcionamento: um quando existe excesso de produção de calor no subsistema solar e outro relativo ao arrefecimento do condensador do ciclo ejedor. A comutação de uma válvula com servomotor permite o controlo destes dois modos. Na necessidade de arrefecimento, o dissipador (Figura 31) é conectado ao condensador e quando existe sobreprodução solar é conectado ao acumulador. A válvula reguladora, colocada à entrada da bomba, permite controlar o caudal debitado pela bomba depois de escolhida a velocidade da mesma.



Figura 31 – Fotografia do ventilador de dissipação

## Capítulo 4

### Desenvolvimento do sistema de monitorização da instalação SOLAC-TDF

Neste capítulo apresentam-se os instrumentos de medição instalados no sistema envolvendo sensores e transdutores. Descreve-se o programa utilizado para aquisição dos dados, desenvolvido em *LabView*. Apresentam-se quais os valores de desempenho que foram utilizados no sistema de monitorização. O programa que permite a monitorização e divulgação dos valores de desempenho durante o funcionamento da SOLAC-TDF é também apresentado.

#### 4.1 - Instrumentação da SOLAC-TDF

A instalação está equipada com os sensores e transdutores que permitem a aquisição dos dados necessários para avaliar o desempenho dos subsistemas. Caudalímetros, transdutores de pressão, sensores de temperatura e um piranómetro estão montados em pontos considerados estratégicos.

A leitura de temperatura da água no evaporador é efetuada por dois termopares tipo T (*Tecnisis*, Portugal), com erro máximo de  $0,35^{\circ}\text{C}$ , um na entrada e outro na saída do mesmo. Ainda no subsistema de arrefecimento dispõe-se de um caudalímetro ultrassónico (*Kobold*, Alemanha) montado entre o evaporador e o ventilo-convetor.

A temperatura da água no gerador é monitorizada com recurso a dois RTDs de quatro fios do tipo PT 100, gama de  $0-100^{\circ}\text{C}$  e precisão de  $\pm 0,08^{\circ}\text{C}$ , montados à sua entrada e saída e o um outro caudalímetro ultrassónico mede o caudal de água que circula entre o acumulador e o gerador. Semelhantes PT 100 (*KIMO*, França) medem a temperatura do isobutano nas entradas primária e secundária e na saída do ejeto. No ciclo ejeto estão montados caudalímetros de área variável (*Kobold*, Alemanha) com precisão de 2,2% no fim de escala.

Para a determinação da diferença de temperatura à entrada e saída do dissipador utilizam-se também dois termopares tipo T e cujo caudal é estimado com recurso ao balanço energético entre o sistema solar e o dissipador [28]. Na Figura 32 está apresentado um esquema da instalação sem o campo solar representado e a colocação destes instrumentos de medição.



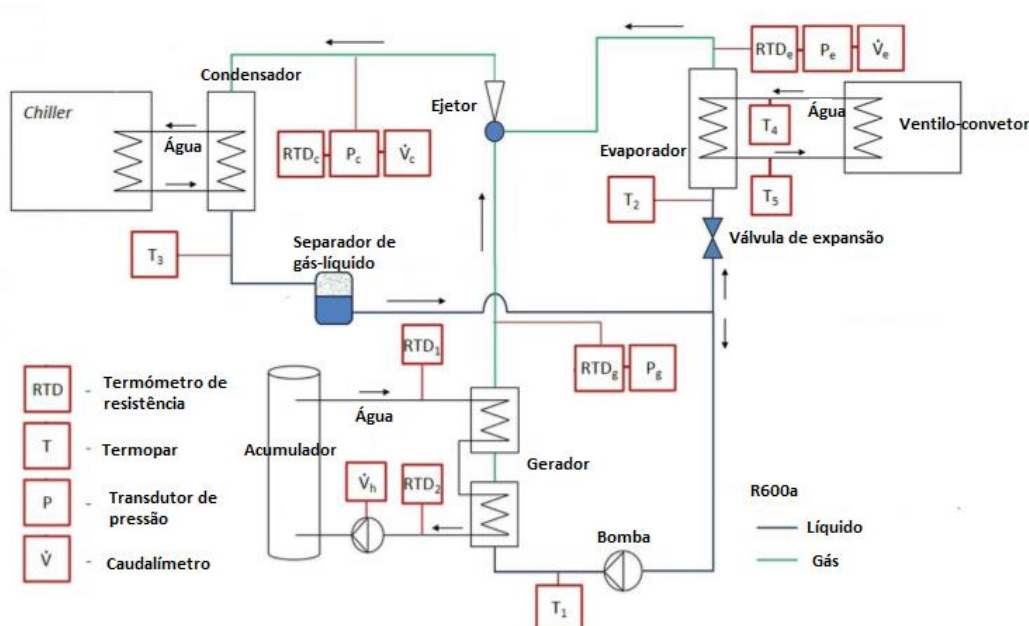


Figura 32 – Esquema da instalação e respetivos instrumentos de medição sem representação do campo solar [adaptado de 39]

## 4.2 - Aquisição de valores medidos

O programa desenvolvido no *software LabView* tem duas funcionalidades. Por um lado permite a aquisição dos dados experimentais como medições de temperatura, pressão e radiação solar através de um Datalogger HP (modelo 34790A -Figura 33a), que possibilita a obtenção dos sinais analógicos provenientes dos sensores instalados e cuja comunicação com o computador é feita através de uma interface RS-232. Por outro lado o programa tem também a função de controlo da operação ao ser possível ligar/desligar bombas e dissipador, controlar a geometria do ejetor, controlar válvulas e controlar a frequência da bomba do ciclo de refrigeração. É usado para tal uma placa I/O da *National Instruments* (NI-6008 – Figura 33b à direita) que tem sinal de saída digital de baixa capacidade. Por esta razão, e para operar os atuadores do sistema a 230VAC, foram utilizados relés de 24VDC, voltagem que também já está disponível da fonte de alimentação dos transdutores do sistema. Para converter o sinal de saída desta placa I/O em 230 VAC (voltagem comum para este género de aplicações) foi utilizada uma placa (UISPA – Figura 33b à esquerda) que converte o sinal de saída de baixa tensão e corrente da placa NI em 24VDC para os relés de *output* selecionados.



*Elaboração de um sistema de monitorização e análise de uma instalação de ar condicionado solar com ejeter de geometria variável*

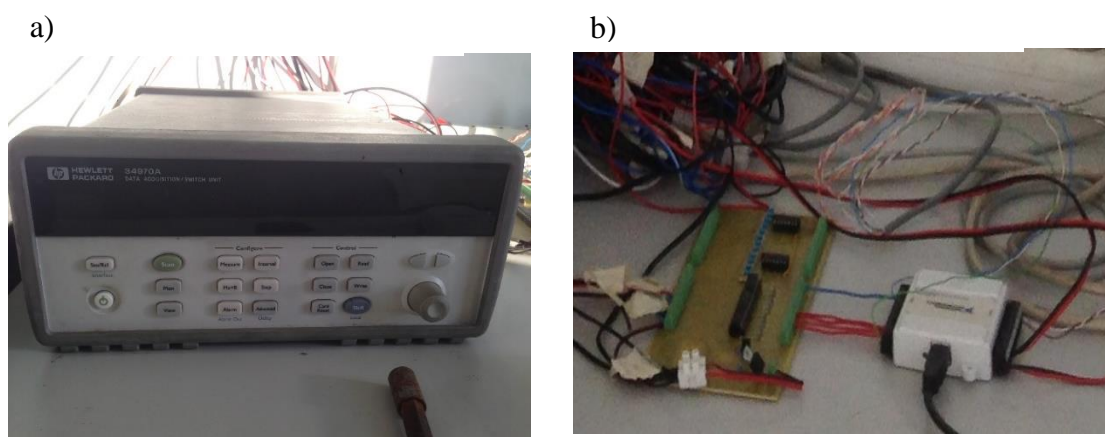


Figura 33 – Fotografia de: a) Data Logger HP b) Placa I/O da NI e placa de conversão de sinal de tensão da UISPA

A aquisição dos dados é tipicamente efetuada com um intervalo de 10 segundos.

Nas Figura 34 mostra-se o aspeto do referido programa em *LabView*.

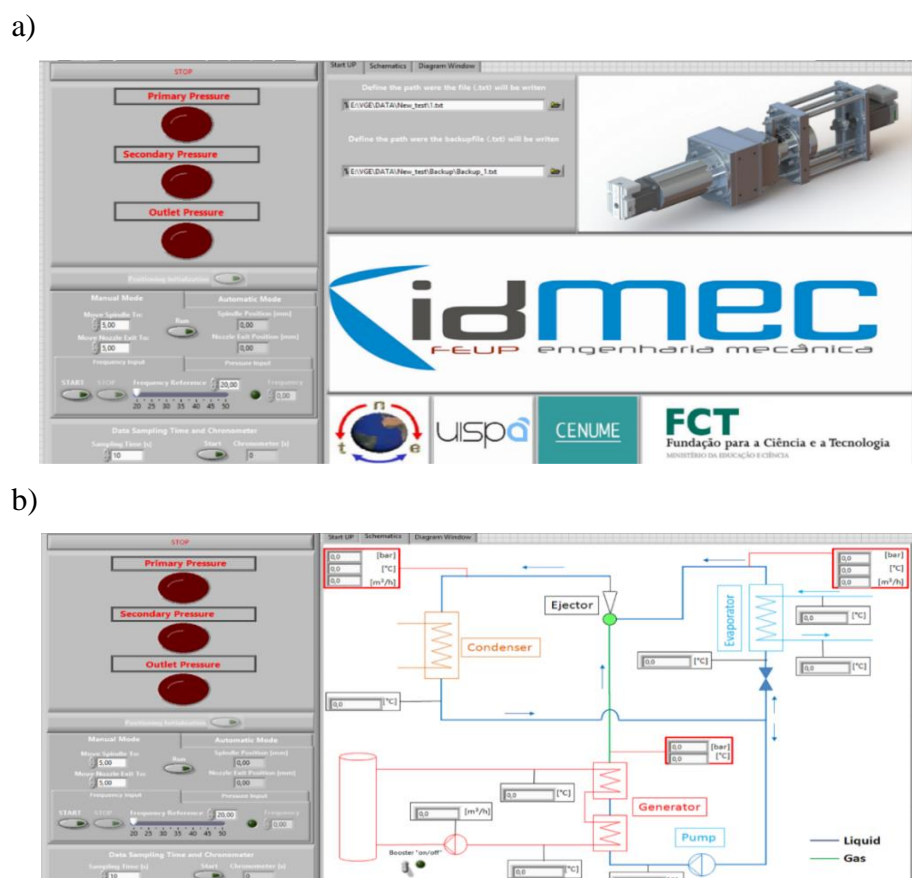


Figura 34 – Screenshot do programa desenvolvido em *LabView*: a) Separador “Startup” b) Separador “Schematics”

Em “StartUP” (Figura 34<sup>a</sup>) é possível iniciar ou parar o funcionamento do sistema, escolher o nome e diretório onde irão ser guardados os ficheiros de texto correspondentes aos valores medidos e ajustar a frequência da bomba ou a posição do *spindle* e *nozzle*. Ainda neste separador é possível escolher entre operação automática ou manual escolhendo para tal os respetivos *tabs*. Quando o controlo manual é selecionado, o utilizador tem a possibilidade de selecionar entre controlo por uma pressão de referência do gerador ou frequência da bomba. No modo automático o sistema controla ambos bem como o arranque e paragem do ciclo de arrefecimento. O funcionamento do sistema pode ainda ser parado a qualquer altura, premindo o botão *stop*.

Em “schematics”, (Figura 34b) vê-se um esquema da instalação com mostradores de valores em pontos fulcrais.

Por fim, em Diagram Window (Figura 35) trata-se da interface gráfica dos valores obtidos e apresentam-se os mesmos em função do tempo, como por exemplo pressões e temperaturas do ciclo, caudais, valores da irradiação solar entre outros.



Figura 35 – Screenshot do programa desenvolvido em LabView, Separador “Diagram Window”

### 4.3 - Procedimento de monitorização

A operação do ciclo ejeter pode ser feita em modo manual ou automático conforme se pode ver Figura 36.

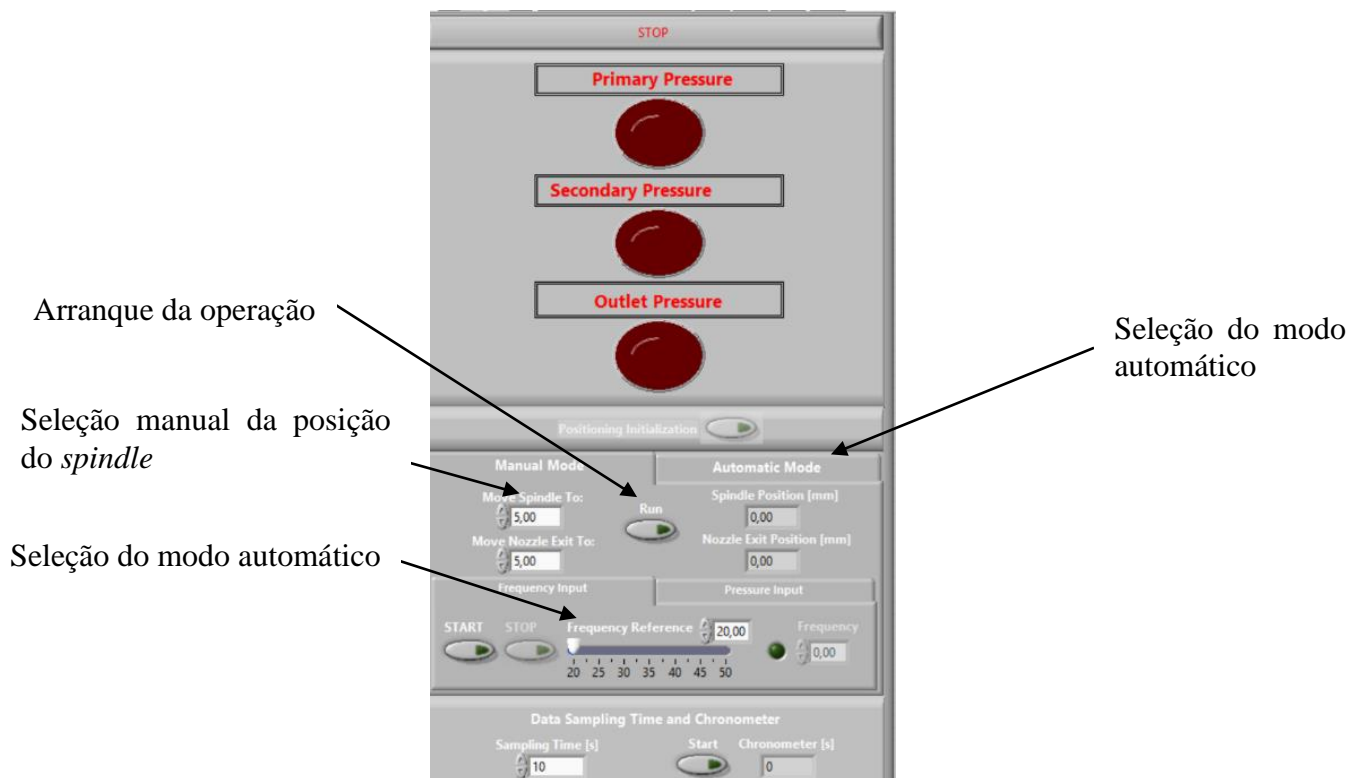


Figura 36 - Painel de controlo do programa LabView

Em modo automático após premido o botão *Run*, para que a bomba arranque, o sistema de controlo verifica se o isobutano se encontra em forma de vapor com 5°C de sobreaquecimento na entrada do bocal primário e se a temperatura da água na entrada do gerador é superior a 75°C. Para tal o programa tem em conta as temperaturas e pressões dos fluídos lidas pelos sensores e calcula o aumento esperado na pressão do R600a causado pela bomba no seu funcionamento de velocidade mínima. Verificadas estas condições o controlador de pressão ajusta constantemente a frequência da bomba para que se mantenham os 5°C de sobreaquecimento na temperatura do gerador. A transferência de calor entre a água e o R600a no gerador faz com que a temperatura do R600a aumente e consequentemente aumente também a sua pressão de saturação, dando instruções ao controlador de pressão para que a frequência da bomba aumente até que se chegue a isobutano em estado de vapor na saída do gerador. Se a potência fornecida pela água no gerador baixar, a temperatura do R600a baixa, baixando também a frequência da bomba.

O sistema de arrefecimento com ejeter entra em funcionamento depois do referido anteriormente e quando a pressão no gerador, do evaporador e do condensador entre estão entre valores pré-definidos. As posições do *spindle* e NXP durante o arrefecimento são

controladas automaticamente pelos servomotores acoplados ao ejedor e atualizadas para posições ótimas a cada 10 segundos.

Se a bomba estiver em funcionamento e quisermos parar o sistema, a sua frequência é gradualmente diminuída até ao valor mínimo e consequente paragem. Se quisermos parar o sistema e ainda nos encontrarmos na fase de verificação de vapor na entrada primária do ejedor, a instalação pára de imediato [39].

No caso de se optar pela realização de testes em modo manual, é possível proceder ao controlo por pressão (no gerador) ou frequência da bomba. Antes de se proceder ao teste, é necessário premir o botão *Positioning Initializing*, procedendo-se a uma operação de reposicionamento dos servomotores do ejedor. Em ambos os casos de controlo será necessário seleccionar a posição de *spindle* e NXP para as desejadas premindo depois *Run* para o ajuste das mesmas. Um clique em *Start* arranca o sistema, e os valores de pressão ou frequência podem ser ajustados conforme as necessidades. Os testes já efetuados à SOLAC-TDF foram feitos com controlo por pressão (do gerador) recorrendo para tal à tabela do anexo A que mostra qual a pressão a introduzir para uma determinada temperatura no gerador, já contabilizando os 5°C de sobreaquecimento.

## **4.4 - Desenvolvimento do sistema de monitorização**

O objetivo do sistema de monitorização é dar uma ideia do desempenho da SOLAC-TDF fazendo uso das variáveis lidas. Primeiramente são descritas as variáveis a divulgar e depois apresenta-se uma descrição do funcionamento do sistema de monitorização, um *website*.

### **4.4.1 - Variáveis monitorizadas**

São lidas muitas variáveis durante a aquisição dos dados e nem todas são de importância para o sistema de monitorização. Como tal, seleccionam-se as necessárias para o cálculo dos indicadores de desempenho e outras para que se tenha uma ideia de como estes se relacionam com, por exemplo, a temperatura do gerador. Nas secções seguintes são apresentados os significados destas variáveis e as fórmulas de cálculo dos indicadores. Foram organizadas segundo indicadores de desempenho, variáveis instantâneas e contadores energéticos.

#### **4.4.1.1 - Valores instantâneos da SOLAC-TDF**

Os valores dos indicadores de desempenho apesar de darem uma ideia clara do comportamento do sistema, sendo adimensionais não dando qualquer informação clara acerca dos valores de outra dos valores individuais usados para os obter. Para tal decidiu-se dedicar uma zona no *website* para também monitorizar a potência incidente nos coletores solares (Equação 4.18), a potência calorífica útil captada pelos coletores (Equação 4.21) e a potência produzida no evaporador (Equação 4.2) de forma individual.

Para se ter uma ideia da temperatura do isobutano na saída gerador, evaporador e condensador e da temperatura ambiente (e comparar com os correspondentes valores de indicadores de performance), estes são também incluídos nesta zona do *website*.

#### **4.4.1.2 - Indicadores de performance da SOLAC-TDF**

O COP (*Coefficient of Performance*) define-se como o quociente entre a potência produzida no evaporador ( $\dot{Q}_e$ ) e a potência fornecida no gerador ( $\dot{Q}_g$ ) no lado da água (Equação 4.1). O COP indica a eficiência do sistema para a produção de frio para uma dada potência fornecida.

Duas abordagens podem ser consideradas quando se está a calcular o valor de COP, considerando as trocas de calor na água ou no isobutano. Com a intenção de simplificar e tendo em conta que o subsistema de arrefecimento tem como fluido de trabalho a água, optou-se por seguir o procedimento que considera as trocas de calor por parte da água [40].

$$COP = \lambda \times \frac{\Delta h_e}{\Delta h_g} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} \quad (4.1)$$

Para calcular  $\dot{Q}_e$  (Equação 4.2) é necessário determinar o caudal mássico de água no evaporador ( $\dot{m}_{e,a}$ ), a densidade da água ( $\rho_{e,a}$ ) à temperatura média no evaporador ( $T_{e,a}$ ) e o calor específico da água ( $c_{p,e}$ ) à mesma temperatura média. É ainda preciso usar as temperaturas de entrada ( $T_{in,e}$ ) e saída ( $T_{out,e}$ ) da água no evaporador.

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_{e,a} \times c_{p,e} \times (T_{in,e} - T_{out,e}) \quad (4.2)$$

O  $c_{p,e}$  e  $\rho_{e,a}$  foram calculados em função da  $T_{e,a}$  que foi obtida em relação a  $T_{in,e}$  e  $T_{out,e}$  (Equações 4.3 a 4.5).

$$T_{e,a} = (T_{in,e} + T_{out,e})/2 \quad (4.3)$$

$$c_{p,e} = 4,214 - 2,286 \times 10^{-3} \times T_{e,a} + 4,991 \times 10^{-5} \times T_{e,a}^2 - 4,519 \times 10^{-7} \times T_{e,a}^3 + 1,857 \times 10^{-9} \times T_{e,a}^4 \quad (4.4)$$

$$\rho_{e,a} = 1001,1 - 0,0867 \times T_{e,a} - 0,0035 \times T_{e,a}^2 \quad (4.5)$$

Realizados uma série de medições, determinou-se o valor de 13,2 l/min para o caudal volumico de água ( $\dot{V}_{e,a}$ ) no subsistema de arrefecimento/arrefecimento (a bomba

responsável pela circulação de água no subsistema de arrefecimento apenas liga ou desliga), a determinação de  $\dot{m}_{e,a}$  obtém-se com recurso ao  $\dot{V}_{e,a}$  e a  $\rho_{e,a}$ :

$$\dot{m}_{e,a} = \dot{V}_{e,a} \times \rho_{e,a} \quad (4.6)$$

Para calcular  $\dot{Q}_g$  (Equação 4.7) é necessário determinar o caudal mássico de água no gerador ( $\dot{m}_{g,a}$ ), a densidade da água no gerador ( $\rho_{g,a}$ ) à temperatura média no gerador ( $T_{g,a}$ ) e o calor específico da água no gerador ( $c_{p,e}$ ) à mesma temperatura média. É ainda preciso usar as temperaturas de entrada ( $T_{in,e}$ ) e saída ( $T_{out,e}$ ) da água no gerador.

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_{g,a} \times c_{p,g} \times (T_{in,g} - T_{out,g}) \quad (4.7)$$

Para estimar  $c_{p,e}$  (calculada com recurso a um polinómio de 4ª ordem [41]) e  $\rho_{e,a}$  (calculada com recurso a um polinómio de 2ª ordem [41]) utiliza-se  $T_{g,a}$  que foi obtida em função de  $T_{in,g}$  e  $T_{out,g}$  (Equações 4.8 a 4.10).

$$T_{g,a} = (T_{in,g} + T_{out,g})/2 \quad (4.8)$$

$$c_{p,g} = 4,214 - 2,286 \times 10^{-3} \times T_{g,a} + 4,991 \times 10^{-5} \times T_{g,a}^2 - 4,519 \times 10^{-7} \times T_{g,a}^3 + 1,857 \times 10^{-9} \times T_{g,a}^4 \quad (4.9)$$

$$\rho_{g,a} = 1001,1 - 0,0867 \times T_{g,a} - 0,0035 \times T_{g,a}^2 \quad (4.10)$$

O  $\dot{m}_{g,a}$  é obtido através do valor do caudal volúmico da água no gerador ( $\dot{V}_{g,a}$ ), medido em m<sup>3</sup>/h, e da  $\rho_{g,a}$  pela fórmula:

$$\dot{m}_{g,a} = (\dot{V}_{g,a} / 1000 / 60) \times \rho_{g,a} \quad (4.11)$$

Com recurso à equação 7 calcula-se então a potência no gerador e consequentemente o COP, equação 4.1.

Para avaliar o desempenho no sistema de refrigeração para o ejedor/bomba utiliza-se a razão de sucção ( $\lambda$ ), usando os caudais mássico na entrada primária e secundária do ejedor ( $\dot{m}_{prim}$  e  $\dot{m}_{sec}$  respetivamente) que é definida como:

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{sec}}{\dot{m}_{prim}} \quad (4.12)$$

O COP (quando calculado com recurso a às variações das entalpias do R600a) e  $\lambda$  apresentam valores diretamente proporcionais uma vez que a variação de entalpia do R600a no evaporador e no gerador são aproximadamente as mesmas (ver Equação 4.1).

Para se determinar os  $\dot{m}_{sec}$  e o caudal mássico na saída do ejedor ( $\dot{m}_{prim}$ ) é necessário saber a densidade do isobutano ( $\rho_{sec}$ ) às pressões ( $P_{sec}$  e  $P_{out}$ ) e temperatura medidas ( $T_{sec}$  e  $T_{prim}$ ), fazendo uso para tal da suposição de que o R600a é um gás ideal:

$$\rho_{sec} = \frac{P_{sec}}{RT_{sec}} \quad (4.13)$$

$$\rho_{out} = \frac{P_{out}}{RT_{out}} \quad (4.14)$$

Os valores de caudais volumétrico de r600a na saída e secundário ( $\dot{V}_{sec}$  e  $\dot{V}_{out}$ ) estão medidos diretamente na instalação através dos caudalímetros de área variável. Estes instrumentos foram feitos e calibrados para leituras a 1 bar e 15° de temperatura razão pela qual é necessário fazer uma correção [42].

A equação abaixo contempla a referida correção e também a conversão para caudal mássico dos caudais volúmicos secundário e de saída:

$$\dot{m}_{sec} = \rho_{sec} \times \sqrt{\frac{2,51}{\rho}} \times (\dot{V}_{sec}/3600) \quad (4.15)$$

$$\dot{m}_{out} = \rho_{out} \times \sqrt{\frac{2,51}{\rho}} \times (\dot{V}_{out}/3600) \quad (4.16)$$

Fazendo um balanço mássico ao ejedor determina-se o caudal mássico na entrada primária ( $\dot{m}_{prim}$ ):

$$\dot{m}_{prim} = \dot{m}_{out} - \dot{m}_{sec} \quad (4.17)$$

Para o cálculo do rendimento instantâneo dos coletores solares ( $\eta_{sol}$ ) calcula-se a potência incidente nos mesmos ( $\dot{Q}_i$ ) e a potência útil ( $\dot{Q}_u$ ) captada pelos coletores, equações 4.18 a 4.22.

$$\dot{Q}_i = (\dot{G} \times A_{col})/1000 \quad (4.18)$$

$$T_{col,a} = (T_{in,col} + T_{out,col})/2 \quad (4.19)$$

$$c_{p,col} = 4,214 - 2,286 \times 10^{-3} \times T_{col} + 4,991 \times 10^{-5} \times T_{col}^2 - 4,519 \times 10^{-7} \times T_{col}^3 + 1,857 \times 10^{-9} \times T_{col}^4 \quad (4.20)$$

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_{col} \times c_{p,col} \times (T_{out,col} - T_{in,col}) \quad (4.21)$$

$$\eta_{sol} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_i} \quad (4.22)$$

#### 4.4.1.3 - Contadores energéticos da SOLAC-TDF

Com base nas respetivas potências ( $\dot{Q}_i$ ,  $\dot{Q}_u$  e  $\dot{Q}_e$ ), monitorizam-se também 3 valores de energia: energia total incidente nos coletores solares ( $E_i$ ), calor total útil ( $E_u$ ) produzido nos coletores e energia total produzida no evaporador ( $E_e$ ), estimados com recurso às fórmulas abaixo apresentadas em que  $t$  representa o instante, em segundos, em que se pára o funcionamento da SOLAC-TDF:

$$E_i = \int_0^t \dot{Q}_i dt \quad (4.22)$$

$$E_u = \int_0^t \dot{Q}_u dt \quad (4.23)$$

$$E_e = \int_0^t \dot{Q}_e dt \quad (4.24)$$

O cálculo destes três valores foi feito utilizando um somatório que soma a média entre dois valores de potência ( $\dot{Q}_i$ ,  $\dot{Q}_u$  ou  $\dot{Q}_e$ ) sucessivos multiplicados pelo correspondente intervalo de tempo, no caso 10 segundos. A expressão abaixo mostra como o aspeto deste somatório da maneira como foi implementado no *website* em que  $t$  representa o tempo, em segundos, da última leitura de valores:

$$E_i = \sum_0^t \left( \left( \frac{\dot{Q}_{t=t} + \dot{Q}_{t=t-1}}{2} \right) \times \Delta t \right) \quad (4.25)$$



#### 4.4.2 - Tratamento e apresentação de dados

O objetivo da presente dissertação está relacionado com o desenvolvimento de um sistema de monitorização que visa mostrar o desempenho da instalação SOLAC-TDF. Para alcançar esse objetivo o tratamento de dados e respetiva apresentação poderia ter sido feito no próprio *software LabView* o que facilitaria bastante a representação gráfica. Porém, foi seguido outro caminho, tendo sido elaborado uma página na internet (a que se refere de *website*) para, por um lado, se conseguir aceder rapidamente e em qualquer lugar ao desempenho do sistema e, por outro, para que se consiga que o sistema de monitorização dê uma maior visibilidade ao sistema.

Foi decidido dar ao *website* dois tipos de consulta diferentes. Se a instalação SOLAC-TDF se encontrar em funcionamento (se o ciclo de refrigeração com ejedor estiver a funcionar), a monitorização poderá ser efetuada em tempo real. Caso a instalação SOLAC-TDF esteja desligada, este tipo de consulta deixa de fazer sentido, não sendo apresentados quaisquer valores ou esboçados quaisquer gráficos. O segundo modo de consulta permitirá ao utilizador a visualização de dados históricos de testes realizados em dias anteriores.

#### 4.4.3 - Aquisição e tratamento de valores medidos num ficheiro de texto, *output* do programa *LabView*

Como já referido, um programa desenvolvido em *LabView* está encarregue da aquisição dos valores de medição dos sensores e transdutores instalados na SOLAC-TDF. Estes valores são guardados em dois ficheiros de texto cujo diretório é escolhido no separador “StartUp” (ver Figura 37).

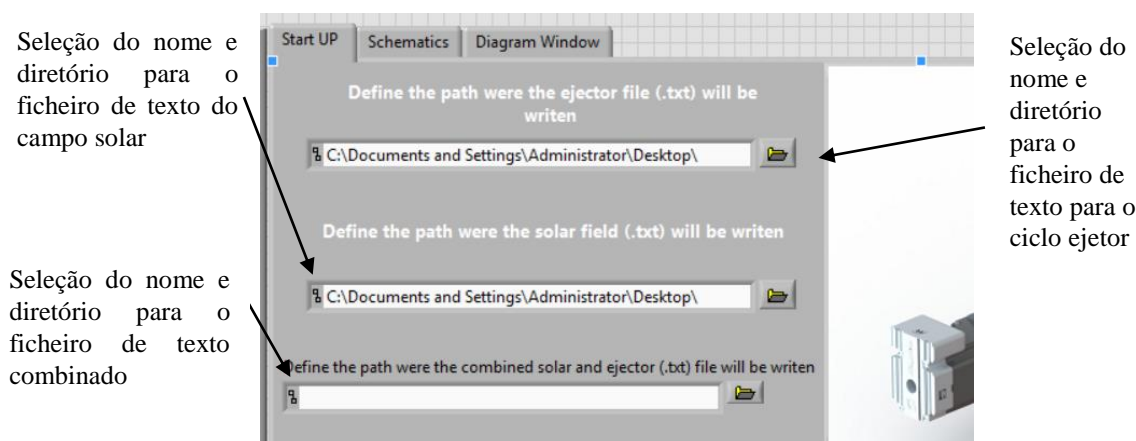


Figura 37 – Screenshot do separador “StartUp” programa *LabView*

Estes dois ficheiros dizem respeito aos dados recolhidos relativos ao campo solar e ao ciclo ejedor. O primeiro passo na criação do *website* está relacionado com a identificação e leitura desses ficheiros. Para simplificar e facilitar esta leitura, uma vez que dois

ficheiros de texto iriam representar um código maior e com maior potencial para erros, introduziu-se uma alteração no programa *LabView* para que os dois ficheiros de texto acima referidos fossem compilados num. É para isto que serve a seleção de nome e diretório para o ficheiro de texto combinado visível na figura 27. A pequena alteração feita apenas utiliza uma função de “Concatenate String Array” em vez de duas, disponível na biblioteca do *LabView*. Esta função possibilita concatenar *strings* (conjunto de caracteres) separadas por espaços em branco numa única linha de saída. Um esquema da alteração efetuada está ilustrado na Figura 38.

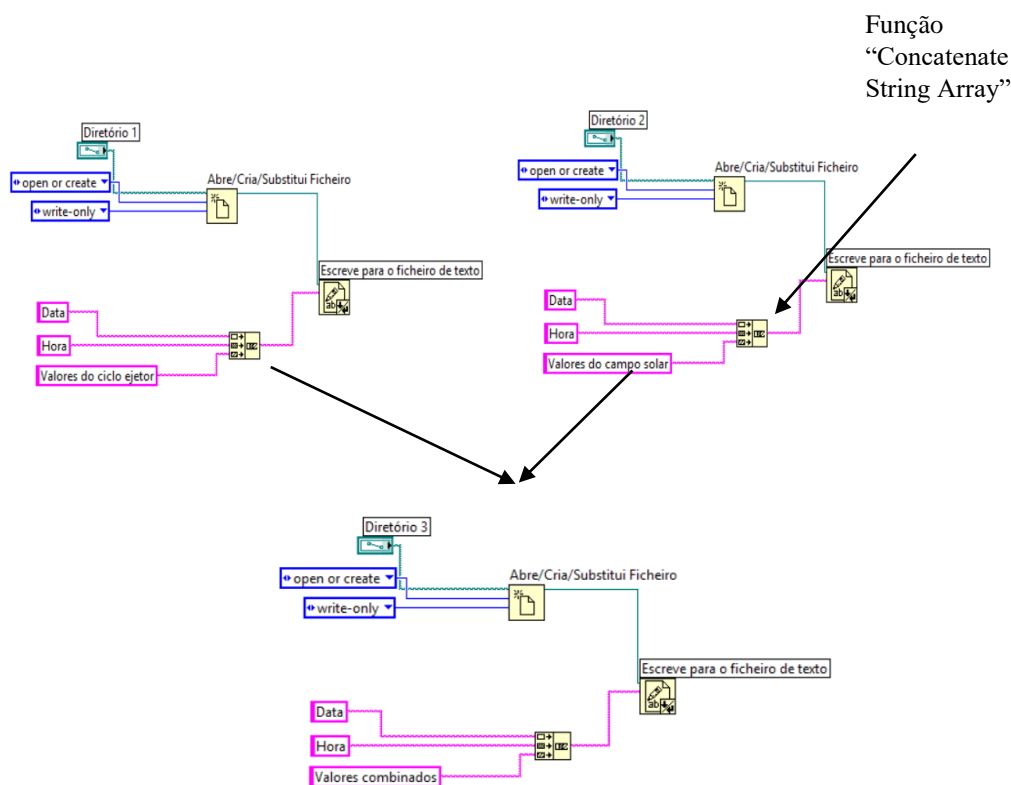


Figura 38 – Alteração levada a cabo no programa *LabView*

Os ficheiros de texto vêm organizados por data e hora com incrementos de 10 segundos. Assim, para um determinado dia, uma linha do ficheiro de texto do ciclo com ejedor apresenta os dados relativos a (e por esta ordem): data, hora, posição do NXP, posição do *spindle*, frequência da bomba, temperatura e pressão do R600a no bocal primário do ejedor, temperatura, pressão e caudal volúmico do R600a na entrada secundária do ejedor, temperatura pressão e caudal volúmico do R600a na saída do ejedor, temperatura de entrada do R600a no evaporador, temperatura de saída do R600a no condensador, temperatura de entrada e saída e caudal volúmico da água no gerador e as temperaturas de entrada e saída da água no evaporador. Para o mesmo dia, uma linha do ficheiro de texto do campo solar apresenta os dados relativos a: data, hora, temperatura ambiente, radiação solar, caudal volúmico nos coletores, temperatura de entrada e saída dos

coletores e temperatura em baixo e no topo do acumulador. O ficheiro de texto combinado compila os valores acima referidos num só ficheiro, retirando as informações de data e hora redundantes do ficheiro do campo solar.

#### 4.4.4 - Desenvolvimento do *website*

Um esquema da metodologia seguida na construção do *website* está representada através do esquema da Figura 39. A leitura dos valores medidos no ficheiro de texto referido no subcapítulo anterior e cálculo de indicadores de performance (e valores necessários para tal) está implementada em linguagem *java* através do *software* Eclipse IDE (Eclipse Foundation, EUA) versão luna 4.4.1. Os valores são posteriormente colocados numa base de dados MySQL. O *website* está escrito em linguagem *html* e a interatividade do mesmo está feita com recurso a linguagem *javascript*. Um código escrito em linguagem de programação *php* é responsável pela comunicação com a base de dados alocada num servidor e esses dados tratados em *javascript* para apresentação no *website*. Foi utilizado o *software* NetBeans (Sun Microsystems, EUA) para a elaboração do código em linguagens *html*, *php* e *javascript*. Foi no código *html* que se definiram o tamanho e posição do texto, gráficos, separadores e todas as restantes funcionalidades do *website*.

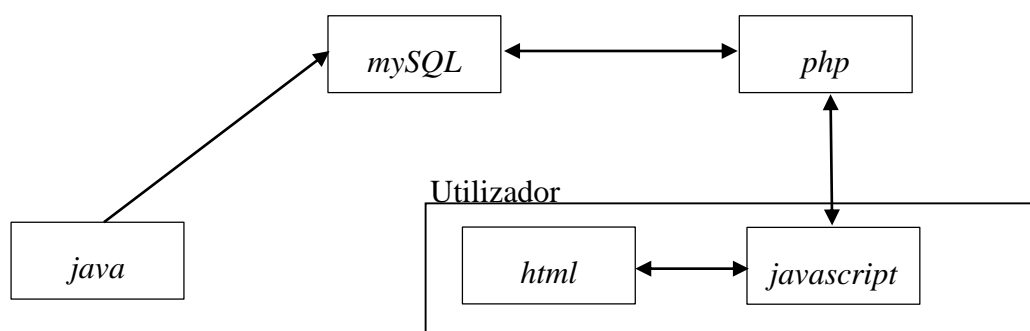


Figura 39 – Esquema de construção do *website*

#### 4.4.5 - Desenvolvimento dos programas para a criação do *website*

O desenvolvimento do programa *java* no *software* Eclipse foi organizado em diversas classes, a saber: *main*, leitor, cálculos, basededados e definições. A classe “leitor” está encarregue do tratamento do ficheiro de texto combinado, cuja lógica de funcionamento se pode verificar no fluxograma da Figura 40.

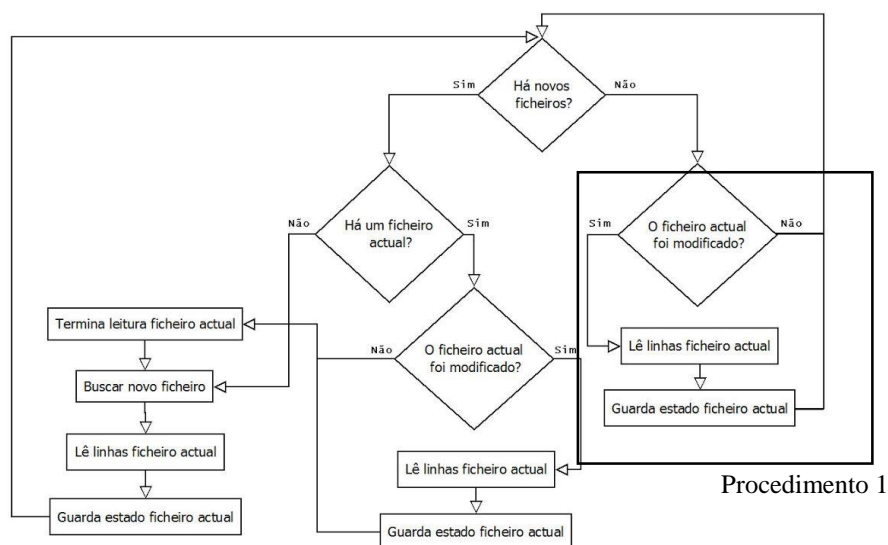


Figura 40 - Fluxograma do algoritmo da leitura de ficheiros

O ponto de partida para a execução deste código começa com a definição de existência de novos ficheiros através da função implementada a que se deu o nome de *haNovosFicheiros()*. Esta procura para tal a existência de ficheiros novos no diretório especificado para a leitura dos ficheiros de texto combinados na classe “definições”. A função *buscarNovoFicheiro()* encarrega-se de carregar o ficheiro do referido diretório para processamento de informação.

Caso não existam ficheiros novos, o procedimento 1 começa e há uma verificação da existência de um ficheiro actual (último ficheiro lido) através da função *haFicheiroActual()* e as informações acerca do seu estado (nome, tamanho e última linha lida) são guardadas com recurso à função *guardaEstadoFicheiroActual()*. Outra função denominada de *ficheiroActualFoiModificado()* verifica se o ficheiro actual foi modificado comparando constantemente para tal o tamanho do ficheiro no momento com o último tamanho do mesmo. Se houver uma modificação do ficheiro actual, as linhas que o constituem são lidas e guardadas através da função *leLinhasFicheirtoActual()*. A leitura de um ficheiro de texto é considerada completa quando existe um novo no diretório especificado para a leitura dos ficheiros de texto combinados, usando para tal a função *completaFicheiro()*.

Está ainda implementada uma outra função, *haFicheirosPendentes*, que permite verificar se existem ficheiros cuja leitura está pendente e que poderiam ser interpretados como completos na eventualidade de existirem ficheiros novos caso houvesse um encerramento inesperado do funcionamento do sistema ou outra anomalia.

Caso existam ficheiros novos é necessário verificar em primeiro lugar se o ficheiro actual está a ser modificado. Se estiver, primeiro é terminada a leitura do mesmo (executando o procedimento 1) e só depois processado o ficheiro novo.

Na classe “definições” estabelece-se a localização do servidor que contém a base de dados, qual a porta de acesso ao servidor, o nome, utilizador e *password* da base de dados e o diretório de leitura do ficheiro de texto combinado. Estes parâmetros estão definidos num ficheiro de texto (denominado de “config” e que se encontra no servidor onde está

alocada a base de dados e *website*) e podem ser modificados livremente, editando para tal o mesmo sem ser necessária a reprogramação do código, como mostra a Figura 41.

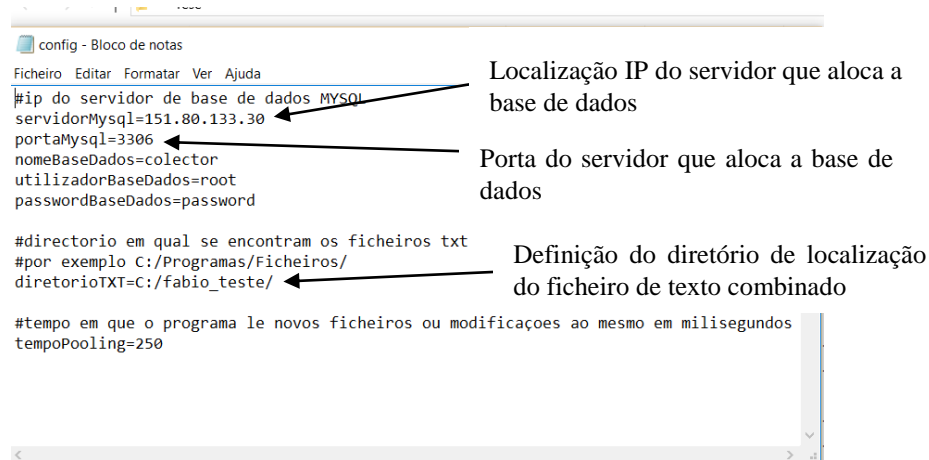


Figura 41 – Screenshot do ficheiro de texto “config” referente à classe “definições”

Na classe “Calculos” (Figura 42) começam-se por definir todas as variáveis nela utilizadas. É aqui que estão implementadas as equações de (4.1) a (4.25). As variáveis constantes são definidas como *final float* e as restantes como *float* e inicializadas com valor 0.

```
public class Calculos {

    final float caudal_volumico_agua_evaporador = 0.0002217F;
    final float pressao_agua_gerador = 400;
    final float ro_n = 2.51F;
    final float r_r600 = 143F;
    float temperatura_media_agua_evaporador=0;
    float cp_evaporador_agua =0
    float ro_agua_evaporador_agua = 0;
```

Figura 42 – Screenshot do início do código para definição de variáveis de programação em linguagem *java* da classe “Calculos” no programa *Eclipse*.

Um *float* é um número decimal. São então designados de *final float* os valores constantes, sendo eles o  $\dot{V}_{e,a}$ , a massa volúmica de referência do R600a e a constante particular do R600a e como *float* os valores de  $COP$ ,  $\lambda$ ,  $T_{e,a}$ ,  $c_{p,e}$ ,  $\dot{Q}_e$ ,  $T_{in,e}$ ,  $T_{out,e}$ ,  $\dot{m}_{e,a}$ ,  $\rho_{e,a}$ ,  $\dot{V}_{e,a}$ ,  $T_{g,a}$ ,  $c_{p,g}$ ,  $\dot{Q}_g$ ,  $T_{in,g}$ ,  $T_{out,g}$ ,  $\dot{m}_{g,a}$ ,  $\rho_{g,a}$ ,  $\dot{V}_{g,a}$ ,  $\dot{m}_{sec}$ ,  $\dot{m}_{prim}$ ,  $\dot{m}_{sec}$ ,  $\rho_{sec}$ ,  $\rho_{out}$ ,  $T_{out}$ ,  $T_{sec}$ ,  $P_{out}$ ,  $P_{sec}$ ,  $\dot{V}_{out}$  e  $\dot{V}_{out}$ .

Depois disto estão implementadas as funções *calculoCop()* e *calculolambda()* que procedem ao cálculo do COP e  $\lambda$ , respetivamente, para uma determinada linha do ficheiro de texto combinado. Estas funções começam por definir qual a coluna no ficheiro de texto a que dizem respeito as medições dos valores (com recurso a um *parseFloat* que converte

*strings* em *floats* visto que uma linha é tratada como um conjunto de *strings*) necessários para a obtenção dos indicadores de desempenho, fazendo para tal uso da função *linhaseparada()* criada na classe *Leitor* que separa as linhas do ficheiro de texto combinado num conjunto de *strings*. Se o caudal de água no gerador for nulo, o COP também o é, programando-se isso mesmo para que se evitem cálculos desnecessários. O excerto de código da Figura 43 mostra o referido.

```
public float calculoCop() {
    temperatura_agua_entrada_evaporador=Float.parseFloat(linhaSepara
da[19]);

    if(caudal_volumico_agua_gerador == 0)
        return 0;
```

Figura 43 – *Screenshot* do início do código de programação em linguagem *java* da classe “*Calculos*” no programa *Eclipse*.

Na classe “*BaseDados*” começa-se por definir o endereço do servidor em que se encontra a base de dados e o respetivo nome (lido no ficheiro “*config*”). Implementou-se uma função nesta classe chamada de *criaNovoFicheiro()* que está encarregue da criação de um novo ficheiro na base de dados quando um ficheiro de texto novo é detetado no diretório de leitura especificado anteriormente. Para inserir linhas do mesmo na base de dados faz-se recurso à função *insereLinha()* que permite inserir os valores calculados para uma determinada data e hora. Cada linha inserida na base de dados é identificada por um valor de ID correspondente a uma data e hora e na qual são inseridos os valores de COP,  $\lambda$ ,  $\eta_{sol}$ ,  $\dot{G}$ ,  $T_a$ ,  $T_e$ ,  $T_g$ ,  $P_e$ ,  $P_u$  e  $P_i$ .

Na Figura 44 vê-se o modo de organização dos ficheiros inseridos na base de dados.

	id_ficheiro	nome_ficheiro	ultimo_tamanho	ultima_linha	completo
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Apagar	1	15-01-2016v4.txt	207270	630	1
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Apagar	2	ficheiro1.txt	564315	2395	1
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Apagar	3	ficheiro2.txt	427547	1929	0

Figura 44 – *Screenshot* da organização dos ficheiros na base de dados

Pode verificar-se que os ficheiros de ID 1 e 2 estão completos (valor na correspondente coluna de 1) e que o último ficheiro inserido (ID com valor de 3) ainda não está completo (completo=0) uma vez que não se encontra disponível nenhum ficheiro de texto respetivo a um teste mais recente.

Os cálculos respetivos aos valores energéticos estão implementados em linguagem *html* para que a base de dados não seja sobrecarregada de informação e porque os dados necessários para as obter já estão disponíveis na base de dados, ver Figura 45.

```
//somatorioEnergeticoEvaporador
var somatorioEnergeticoEvaporador=0;
somatorioEnergeticoEvaporador+=e.potencia_evaporador[0].value*(10/3600);

for(i=1;i<e.potencia_evaporador.length;i++){
    somatorioEnergeticoEvaporador+=((e.potencia_evaporador[i].value+e.potencia_evaporador[i-1].value)/2)*(10/3600);
}
$("#somatorio_energetico_evaporador").html(somatorioEnergeticoEvaporador.toFixed(2));

//somatorioEnergeticoSolar
var somatorioEnergeticoSolar = 0;
somatorioEnergeticoSolar+=e.g[0].value*0.012912*(10/3600);

for(i=1;i<e.g.length;i++){
    somatorioEnergeticoSolar+=((e.g[i].value+e.g[i-1].value)/2)*0.012912*(10/3600);
}

var somatorioEnergiaUtil = 0;
somatorioEnergiaUtil+=e.potencia_util[0].value*(10/3600);

for(i=1;i<e.g.length;i++){
    somatorioEnergiaUtil+=((e.potencia_util[i].value+e.potencia_util[i-1].value)/2)*(10/3600);
}
```

Diagram illustrating the code structure with annotations:

- Initialização da variável com valor 0 (points to `var somatorioEnergeticoEvaporador=0;`)
- Definição do valor inicial (points to `somatorioEnergeticoEvaporador+=e.potencia_evaporador[0].value*(10/3600);`)
- Definição do somatório (points to the loop calculation for evaporator energy)

Figura 45 – Screenshot do ambiente de programação em *html* correspondente ao cálculo dos somatórios energéticos.

Os somatórios energéticos começam por ser inicializados com valor 0. Posto isto é definida a expressão para cálculo do somatório energético que compreende somas de 10 segundos com o valor da potência respetiva para a média das potências registadas entre dois registos sucessivos ( $i$  e  $i-1$  na Figura 45). Por se ter procedido ao cálculo desta maneira, para o primeiro valor de potência não existirá um cálculo da respetiva média, assumindo-se por isso que esta é a potência dos “últimos” 10 segundos até este ponto. Os valores das potências são depois multiplicados por uma constante correspondente à conversão de 10 segundos para horas ( $10/3600$ ). No caso do somatório energético solar, o valor da constante que, assinalada na figura, corresponde à área dos 4 coletores solares divididos por 1000 para a passagem do valor final para kW (o valor de radiação solar na base de dados encontra-se em  $W/m^2$ ). As potências a que se refere este excerto de código visualizado na figura vêm diretamente da base de dados.

Na classe “main” são chamadas outras subclasses como por exemplo o carregamento de definições, a verificação de existência de ficheiros novos ou atuais.

#### 4.4.6 - Filtro de seleção de dados aplicado no *website*

Os valores apresentados nos gráficos traçados no *website* obedecem a um filtro implementado. Decidiu-se apresentar apenas os valores de COP compreendidos entre 0,05 e 1. A razão para tal deve-se ao facto de, assim que se inicia a operação de aquisição de dados da instalação SOLAC-TDF no *LabView* ainda não haver condições suficientes para que o subsistema de refrigeração com ejedor entre imediatamente em funcionamento.



É necessário esperar que a temperatura da água na saída dos coletores apresente um determinado valor para que se consiga R600a no estado de vapor à saída do gerador, sendo que a bomba do subsistema de refrigeração só aqui entra em funcionamento. Antes disto os valores de COP iriam ser desproporcionais e gerar assim gráficos confusos. Por isto, aplicou-se o referido filtro que tem o inconveniente de subvalorizar a estimativa de energia solar incidente e calor útil. Este filtro está aplicado no programa desenvolvido na linguagem *php* (ver Figura 46). Seleccionam-se assim os valores de COP para apresentação da base de dados em função deste filtro e todos os restantes valores monitorizados só aparecem se houver um correspondente valor de COP, isto é se houver uma temperatura do gerador, por exemplo, que nos pareça aceitável mas o COP for ainda demasiado baixo por razões como opções de arranque da SOLAC-TDF que ainda estejam a aumentar a frequência da bomba, o seu valor não é apresentado porque o COP não obedeceu ao filtro tendo sido assim esta linha existente na base de dados excluída da apresentação nos gráficos. Outra das razões pela qual este filtro foi aplicado tem que ver com o facto de o COP e  $\lambda$  serem directamente proporcionais e sempre que o COP é 0 o  $\lambda$  também o é.

```
SELECT data_string, cop, lambda, g, temperatura_ambiente, temp_evaporador, temp_gerador, potencia_evaporador, potencia_util, potencia_incidente, rendimento_solar, temperatura_condensador FROM instalacao_solar WHERE (cop > 0.05 AND COP < 1)
```

Figura 46 - *Screenshot* do filtro aplicado ao *website*

#### **4.4.7 - ESTRUTURA E FUNCIONALIDADES DO WEBSITE**

A página de internet desenvolvida está dividida em 3 separadores. Assim que se acede ao *website* é-se direccionado para a página principal ou “Home” que contém o título do trabalho e uma apresentação do contexto em que surgiu. A partir da página principal pode ser seleccionados os separadores “System” e “Monitoring”.

Em “System” está uma apresentação breve dos principais constituintes da instalação SOLAC-TDF.

Em “Monitoring” pode seleccionar-se a visualização da monitorização com dados ao vivo ou então de dados históricos, ver Figura 47.



## Elaboração de um sistema de monitorização e análise de uma instalação de ar condicionado solar com ejedor de geometria variável



Figura 47 – Screenshot da página principal ou "Home" do website.

Há que referir três funcionalidades essenciais no funcionamento do website. Em primeiro lugar, é possível selecionar o intervalo de datas para o qual se pretende visualizar a monitorização do sistema. Para isso seleciona-se no calendário disponível no separador "Monitoring – Historical Data" (ver Figura 48) data de início e fim de visualização dos dados. Sugere-se que essa verificação seja feita no máximo para um dia (selecionar duas vezes o mesmo dia) para que não sejam traçados gráficos com demasiada informação difíceis de interpretar corretamente.

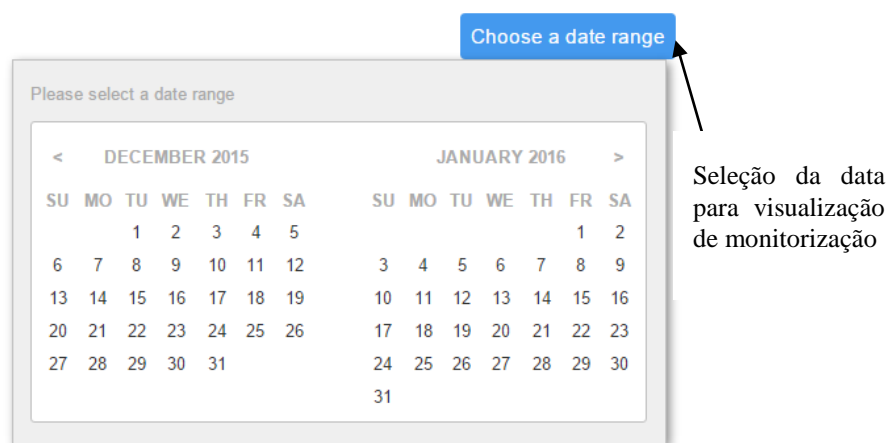


Figura 48 – Screenshot ilustrativo do modo de seleção da data a apresentar no separador "Monitoring – Historical Data" do website.

Outra funcionalidade a referir do website é a possibilidade de fazer zoom à informação dos gráficos traçados usando a barra que existe em cima de cada um deles ou selecionando com o rato no próprio gráfico o período de tempo que se pretende visualizar (Figura 49). Estes gráficos são uma adaptação de uma biblioteca de gráficos disponíveis online [43].

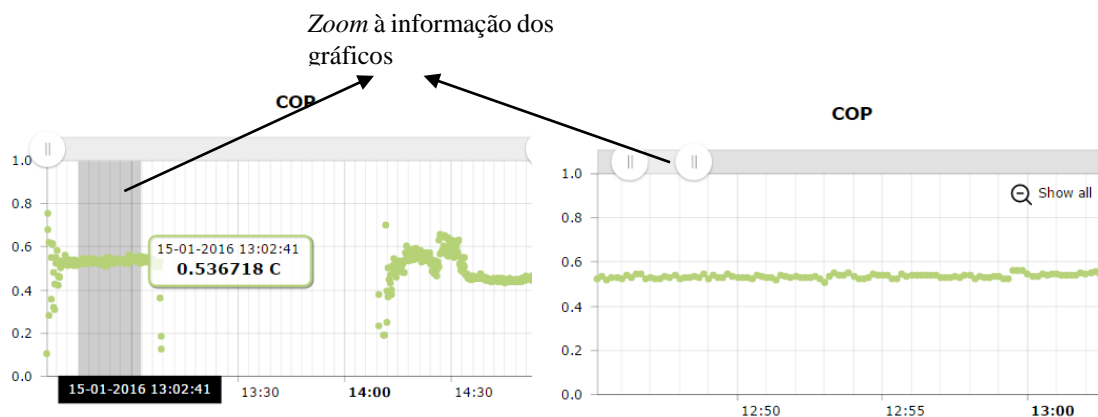


Figura 49 – Screenshot do website demonstrativo dos modos para realizar zoom.

Em último lugar, passando com o cursor do rato em cima de um dos pontos do gráfico pode ver-se ainda o valor exato da variável em questão e a correspondente data e hora, como mostra a Figura 50.

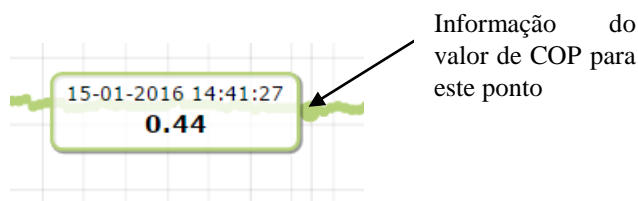


Figura 50 - Screenshot do website demonstrativo da verificação do valor de COP para um determinado ponto.

O website está disponível para acesso em [www.solac-tdf.com](http://www.solac-tdf.com) e nos anexos de B a G estão os programas utilizados para o criar. O código *html* (no qual estão aplicados os códigos *php* e *javascript*) pode ser consultado usando para tal a opção ver código fonte no *browser* de *internet* durante a consulta da página.

## Capítulo 5

### Resultados experimentais

Realizaram-se testes ao sistema de monitorização elaborado com o ciclo do ejedor a funcionar cujos resultados estão apresentados neste capítulo. Foram colocados no diretório especificado no capítulo anterior o ficheiro de texto correspondente ao dia 21 de Outubro de 2015, teste que decorreu antes do *website* estar finalizado. Realizou-se ainda um novo teste no dia 15 de Janeiro de 2016 altura em que as condições climáticas assim o permitiram.

São apresentados os valores do COP,  $\lambda$ , eficiência solar, temperaturas ambiente, no condensador, no evaporador e no gerador, potências solares, úteis e no evaporador e ainda valores energéticos.

#### 5.1 - Descrição dos testes realizados

Concluído o sistema de monitorização procedeu-se a dois testes em diferentes dias e condições. Foram colocados no diretório de *output* do *LabView* ficheiros de texto correspondentes testes efetuados numa data passada, dia 21 de Outubro de 2015 (1º teste), e procedeu-se a um novo teste no dia 15 de Janeiro de 2015 (2º teste).

É importante referir que durante estes dias de testes várias experiências tomaram lugar e entre elas estão algumas interrupções do funcionamento da instalação incluindo correção de eventuais anormalidades na instalação, temperatura da água demasiado baixa à saída do coletor (pouca disponibilidade de energia solar) e o facto haver a possibilidade de indevido posicionamento/incorrecta aplicação de pasta térmica isolante de alguns termopares pode conduzir a uma leitura de valores que por vezes podem parecer desproporcionais. Por exemplo, o 1º teste está dividido em duas experiências.

Por vezes não há calor útil suficiente nos coletores solares para gerar o efeito frigorífico no evaporador e quando tal acontece o ciclo do ejedor não funciona, não existindo a produção de vapor no gerador nem de líquido no condensador. Uma maneira fácil e rápida de saber se o ciclo ejedor está em funcionamento é verificar se há caudal secundário no ejedor, verificando para tal o correspondente parâmetro.

Por estas razões apresentam-se apenas os valores de COP razoáveis, tendo sido feito nesse sentido uma alteração no código *java* para que apenas os valores de COP numa gama de 0.05 a 1 fossem apresentados, como já referido no capítulo anterior. Espaços brancos aparecem no gráfico do *website* quando o COP não se apresenta nesta gama de valores.

Diz-se, portanto, que quando há valores aceitáveis do mesmo o sistema funcionou. De referir ainda que a condição imposta ao COP influencia os valores apresentados nos contadores de energia solar incidente e energia solar útil, subvalorizando-os uma vez que também há energia incidente quando o ciclo do ejedor não se encontra a funcionar.

Para cada teste foram construídas tabelas resumo das experiências realizadas com valores médios e máximos das variáveis de interesse e nas quais não se representou o rendimento solar instantâneo, sendo este o valor mais sensível ao ligar e desligar da SOLAC-TDF que acontece sempre que se inicia ou termina uma experiência.

Para se perceber como certos valores variam e tirar algumas conclusões sobre isso, calculou-se o valor do desvio relativo que não é mais do que o quociente entre o desvio padrão e a média amostral, como mostra a equação (5.1), na qual  $\bar{X}$  representa a média amostral.

$$\text{Desvio padrão relativo (DPR)} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_i^n (X - \bar{X})^2}{N-1}}}{\bar{X}} \quad (5.1)$$

## 5.2 - Teste 1

No dia 21 de Outubro houveram várias interrupções de funcionamento do sistema, tendo-se identificado 8 experiências distintas (ver Tabela 8).

Tabela 8 - Horas de início e fim das diferentes experiências realizadas no dia 21-10-2015

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Início</i>	10:58:08	11:10:58	11:25:08	14:26:54	14:37:24	14:46:04	14:59:34	15:25:54
<i>Fim</i>	11:08:08	11:17:28	11:42:38	14:29:34	14:42:44	14:57:24	15:21:34	15:35:34
<i>Tempo</i>	00:10:00	00:06:30	00:17:20	00:02:40	00:05:20	00:11:20	00:22:00	00:09:40

Na Tabela 9 estão apresentados os valores médios de COP,  $\lambda$ ,  $P_g$ ,  $P_c$ ,  $T_g$ ,  $\dot{V}_{sec}$ ,  $\dot{Q}_e$ ,  $\dot{Q}_g$  para cada experiência e respectivo desvio padrão relativo relativos ao dia 21 de Outubro de 2015.

Tabela 9 - Resumo das experiências do dia 21 de Outubro de 2015

Experiência	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>COP médio / DPR</i>	0,24/ 25,2%	0,24/ 29,2%	0,15/ 34,4%	0,55/ 5,1%	0,35/ 18,6%	0,16/ 33,4%	0,23/ 55,0%	0,24/ 34%
<i><math>\lambda</math> médio / DPR</i>	0,15/ 27,4%	0,15/ 30,4%	0,12/ 52,2%	0,33/ 7,6%	0,23/ 22,7%	0,09/ 40,1%	0,11/ 52,3%	0,12/ 58,6%

$P_g$ (relativa) / [bar]média / DPR	9,10/ 6,5%	9,14/ 3,0%	9,35/ 5,5%	8,82/ 8,2%	6,63/ 7,2%	10,48/ 4,0%	8,99/ 28,9%	8,49/ 29,3%
$P_c$ (relativa) / média [bar] / DPR	3,39/ 9,2%	3,52/ 4,8%	3,37/ 4,9%	3,37/ 10,0%	3,34/ 5,8%	3,80/ 4,4%	3,54/ 10,9%	3,46/ 9,4%
$T_g$ [°C] média / DPR	78,7/ 4,3%	80,7/ 0,6%	84,8/ 0,7%	75,1/ 5,3%	84,3/ 1,5%	88,9/ /0,8%	88,7/ 0,7%	86,4/ 1,0%
$\dot{V}_{sec}$ [m³/h] / média / DPR	3,39/ 33,6%	3,07/ 35,1%	1,88/ 51,2%	6,70/ 6,0%	2,68/ 24,2%	2,34/ 40,3%	2,85/ 47,2%	2,91/ 52,8%
$\dot{Q}_g$ [kW] média / DPR	7,05/ 7,7%	6,89/ 4,3%	6,10/ 4,4%	6,72/ 13,5%	5,27/ 6,2%	7,88/ 4,5%	6,8/ 31,6%	6,58/ 25,6%
$\dot{Q}_e$ [kW] média / DPR	1,73/ 28,3%	1,64/ 26,5%	0,90/ 35,1%	3,64/ 11,3%	1,81/ 16,3%	1,26/ 33,5%	1,58/ 40,8%	1,66/ 44,2%

Analisando os dados da tabela verifica-se que o maior COP médio atingido foi de 0,55 na experiência 4 e o mínimo de 0,15 na experiência 3. Teve sempre um DPR considerável, exceção feita à experiência 4, onde o DPR é de apenas 5,1%, facto que se explica pelos valores mais constantes de  $\dot{V}_{sec}$  que se traduzem em valores mais constantes de  $\dot{m}_{sec}$  o que faz com que a  $\dot{Q}_e$  também não varie muito e consequentemente os valores de COP sejam mais estáveis. Por esta mesma razão, os valores médios de  $\lambda$  apresentaram um DPR mais baixo na experiência 4. É ainda importante referir que devido ao pequeno tempo de duração de algumas experiências (3 minutos na experiência 4 e 2 minutos na experiência 7) os valores apresentados podem não ser representativos do verdadeiro desempenho da instalação sendo que pouco tempo de funcionamento significa que a SOLAC-TDF poderá não atingir um funcionamento em regime permanente devido às operações de arranque e encerramento que impõem variações consideráveis nas medições. É de realçar ainda que a  $T_g$  apresenta valores médios entre 75,12°C (experiência 4) e 88,9°C (experiência 6), com valores de DPR pequenos de experiência para experiência. O valor de 75,1°C para a média de  $T_g$  coincide com o maior valor médio de COP suportando o aspeto de que num ejedor em que não se varie as suas condições geométricas (*spindle* e NXP) nem as pressões no gerador e evaporador, uma diminuição de  $T_g$  reflete-se num aumento de COP e  $\lambda$ . Para as restantes experiências os valores de DPR da média das  $T_g$  foi baixo revelando-se difícil inferir acerca da sua influência no COP e  $\lambda$ . A  $\dot{Q}_g$  obteve o seu valor médio máximo na experiência 6 com 7,88 kW onde se atingiu também um valor de  $\dot{Q}_e$  médio de 1,26, suportando o facto de o COP e  $\lambda$  médios nesta experiência terem sido baixos (0,16 e 0,23 respetivamente). Na tabela 10 são apresentados os dados máximos obtidos relativamente a COP,  $\lambda$ ,  $P_g$ ,  $P_c$ ,  $T_g$ ,  $\dot{V}_{sec}$ ,  $\dot{Q}_e$ ,  $\dot{Q}_g$ .

Tabela 10 - Valores máximos de parâmetros para as experiências 1 a 8 do dia 21-10-2015

<b>Experiência</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<i>COP máximo</i>	0,36	0,56	0,25	0,61	0,50	0,22	0,57	0,34
<i><math>\lambda</math> máximo</i>	0,27	0,28	0,22	0,41	0,38	0,13	0,20	0,20
<i>P<sub>g</sub> [bar] máxima</i>	10,04	9,81	10,1	9,54	7,79	10,9	10,8	10,4
<i>P<sub>c</sub> [bar] máxima</i>	3,65	3,70	3,60	3,78	3,72	4,05	4,10	3,83
<i>T<sub>g</sub> [°C] máxima</i>	80,0	81,0	85,5	78,5	86,0	89,5	89,5	87,6
<i><math>\dot{V}_{sec}</math> [m<sup>3</sup>/h] máximo</i>	5,38	6,03	3,36	6,94	4,86	3,63	4,36	4,26
<i><math>\dot{Q}_e</math> [kW] máximo</i>	2,53	3,10	1,53	3,92	2,61	1,70	2,41	2,48
<i><math>\dot{Q}_g</math> [kW] máximo</i>	8,08	7,53	6,59	7,44	6,11	8,66	8,14	7,89

Da tabela verifica-se que o COP máximo atingido correspondeu à experiência 4 com um valor de 0,61 onde T<sub>g</sub> máxima apresentou o menor valor de 78,5°C e  $\dot{Q}_e$  máximo apresentou o maior valor com 3,92 kW. Esta foi das experiências com menor duração, 2 minutos e 40 segundos, e isto ajuda a explicar estes valores sendo que este intervalo de tempo é normalmente ocupado por operações de arranque em que a frequência da bomba ainda está a ser ajustada para o valor de pressão pretendido podendo os indicadores de desempenho ser sobrevalorizados. Durante a experiência 7, com duração de 22 minutos, obtiveram-se valores máximos para COP e  $\lambda$  de 0,57 e 0,2, respetivamente, com o correspondente valor máximo de  $\dot{Q}_e$  registado de 2,41 kW. Este elevado valor máximo de COP dirá respeito às referidas oscilações de valores provocadas pelo ligar/desligar da SOLAC-TDF. De todas as experiências, a 7 será aquela cujos valores serão mais representativos do verdadeiro desempenho da instalação uma vez que com mais tempo mais próximo se estará do funcionamento da SOLAC-TDF em regime permanente. Nesta tabela não foram apresentados os valores mínimos uma vez que em muitos dos casos, o COP e  $\lambda$  mínimos foram 0 (resultado de  $\dot{Q}_e$  e  $\dot{m}_{prim}$  também nulos).

Para analisar a influência da P<sub>c</sub> nos valores de COP, traçaram-se os correspondentes gráficos (Figuras 51 e 52).

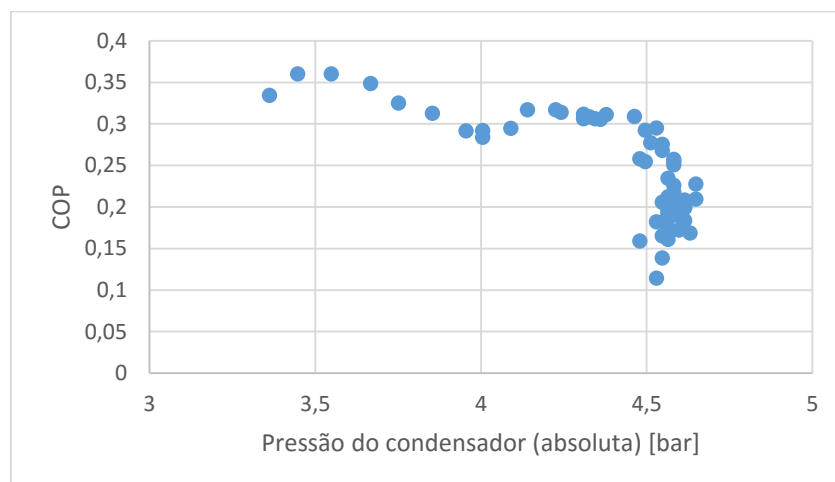


Figura 51 - COP em função da pressão do condensador, experiência 1 no dia 21-10-2015

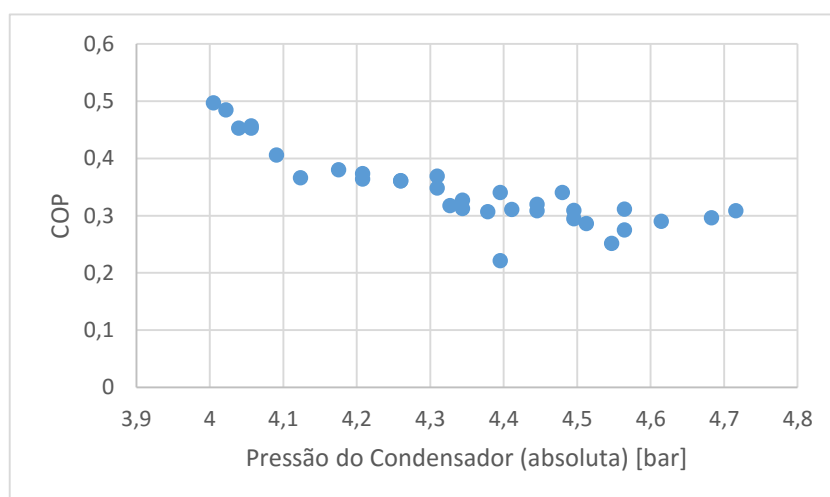


Figura 52 - COP em função da pressão do condensador, experiência 5 no dia 21-10-2015

Com a análise das figuras está visível uma diminuição do COP com o aumento da  $P_c$ . Na experiência 1 um aumento de 3,3 até 4,7 bar (aumento de 1,4 bar) resultou numa diminuição do COP de cerca de 0,35 até perto de 0,1 (diminuição de 0,25) o que é uma queda muito considerável. Durante a experiência 5 a  $P_c$  não teve um aumento tão elevado como na experiência 1, subindo apenas de 4 até 4,71 bar e esta subida de  $P_c$  provocou uma diminuição de cerca de 0,2 no COP (de 0,5 até 0,3).

Assim que colocado o ficheiro de texto combinado deste dia no diretório, o *website* automaticamente atualiza a informação nos gráficos das variáveis apresentadas no capítulo. Os resultados para os indicadores de desempenho estão representados na Figura 53.

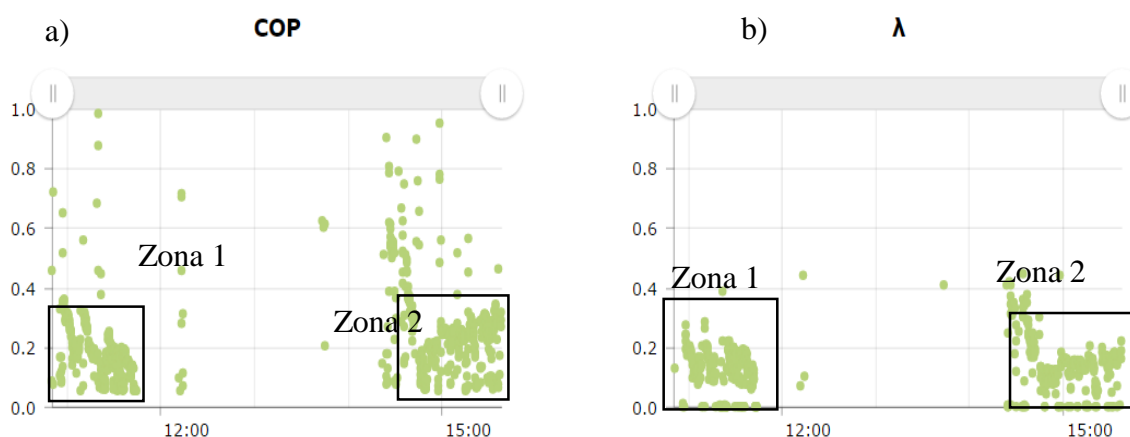


Figura 53 - Screenshot do *website* do dia 21-10-2015: a) COP vs tempo b)  $\lambda$  vs tempo

Verifica-se uma dispersão considerável nos valores do COP, Figura 53a o que pode ser explicado pelo facto de se terem realizado muitas experiências de pequena duração durante o mesmo dia. Nas zonas assinaladas como 1 e 2 (que corresponde aos valores mais aceitáveis), o COP teve valores entre 0,05 e 0,4, não sendo completamente perceptíveis as várias experiências realizadas. No caso do  $\lambda$  (Figura 53b) verifica-se a proporcionalidade em relação aos valores de COP, nomeadamente nas zonas 1 e 2, onde se registaram valores entre 0,1 e 0,4.

Ao usar a barra superior dos gráficos do *website* podemos fazer uma ampliação ao mesmo e obter informação mais pormenorizada para um menor intervalo de tempo. Feito isto, são mais facilmente visíveis as diferentes experiências realizadas, que são sempre antecedidas de uma zona de valores irregulares correspondente a operações de arranque do sistema. Um exemplo de uma ampliação feita, neste caso do gráfico da Figura 53a anterior, está representada na Figura 54.

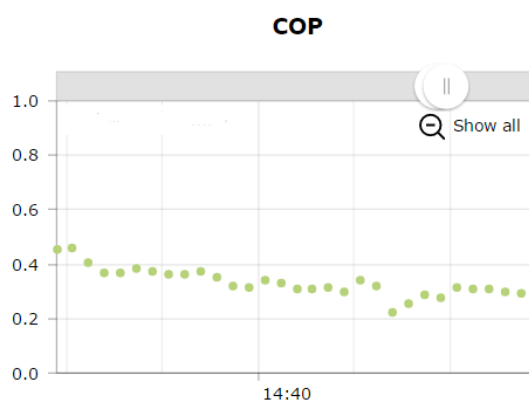


Figura 54 - Screenshot do *website* dos valores do COP das 14:38:21 às 14:42:44 do dia 21 de Outubro de 2015



Das 14:38:24 às 14:42:44, intervalo de tempo o COP máximo atingido foi de 0,46 para uma potência no evaporador de 2,19kW e no gerador de 4,79kW e um valor mínimo de 0,2 para uma potência no evaporador de 1,1kW e no gerador de 5,04kW. Ainda neste período, o caudal de água no gerador oscilou entre 8,20 e 8,68 m<sup>3</sup>/h.

A monitorização do rendimento solar instantâneo resultou no gráfico que se encontra visível na Figura 55.

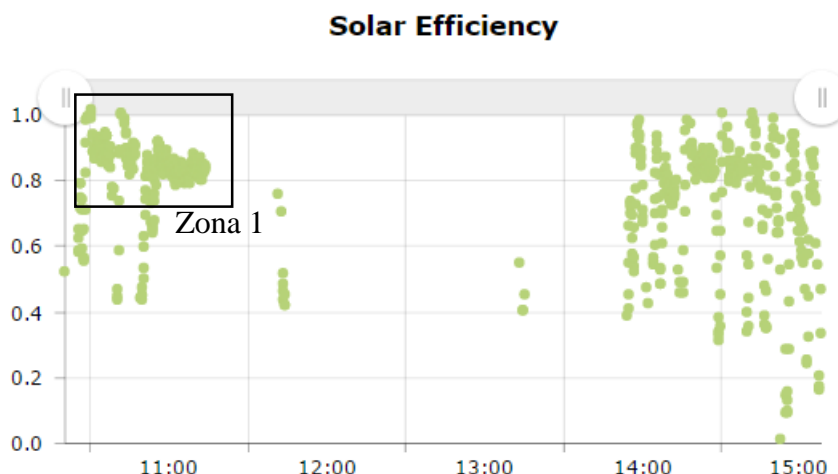


Figura 55 - Screenshot do website dos valores do rendimento solar das 14:38:21 às 14:42:44 do dia 21 de Outubro de 2015

O rendimento solar instantâneo apresentou valores excessivamente acima daquele que é o rendimento ótico indicado pelo fabricante [36]. Segundo o mesmo, para os coletores AR 30 e usando a área de captação útil, o rendimento ótico será de 0,83. Como se pode observar no gráfico da figura anterior, a zona de maior densidade de valores, zona 1, situa-se entre 0,8 e 1 o que não são resultados esperados. Tendo em conta que só nesta zona foram realizadas 3 experiências de duração relativamente curta em que, ao início de cada uma correspondem operações de arranque e encerramento da SOLAC-TDF os resultados obtidos começam a ser percebidos. Para além disso junta-se também o facto de que, quando parada, a SOLAC-TDF tem os seus coletores e tubos hidráulicos ocupados por uma massa de água quente. Quando se inicia o funcionamento da instalação irá entrar água fria nos coletores solares proveniente do acumulador (o volume do acumulador é sensivelmente o mesmo do volume dos coletores e correspondentes tubos hidráulicos).

O resultado da monitorização da temperatura no evaporador, gerador e condensador (saída) está apresentado na Figura 56.

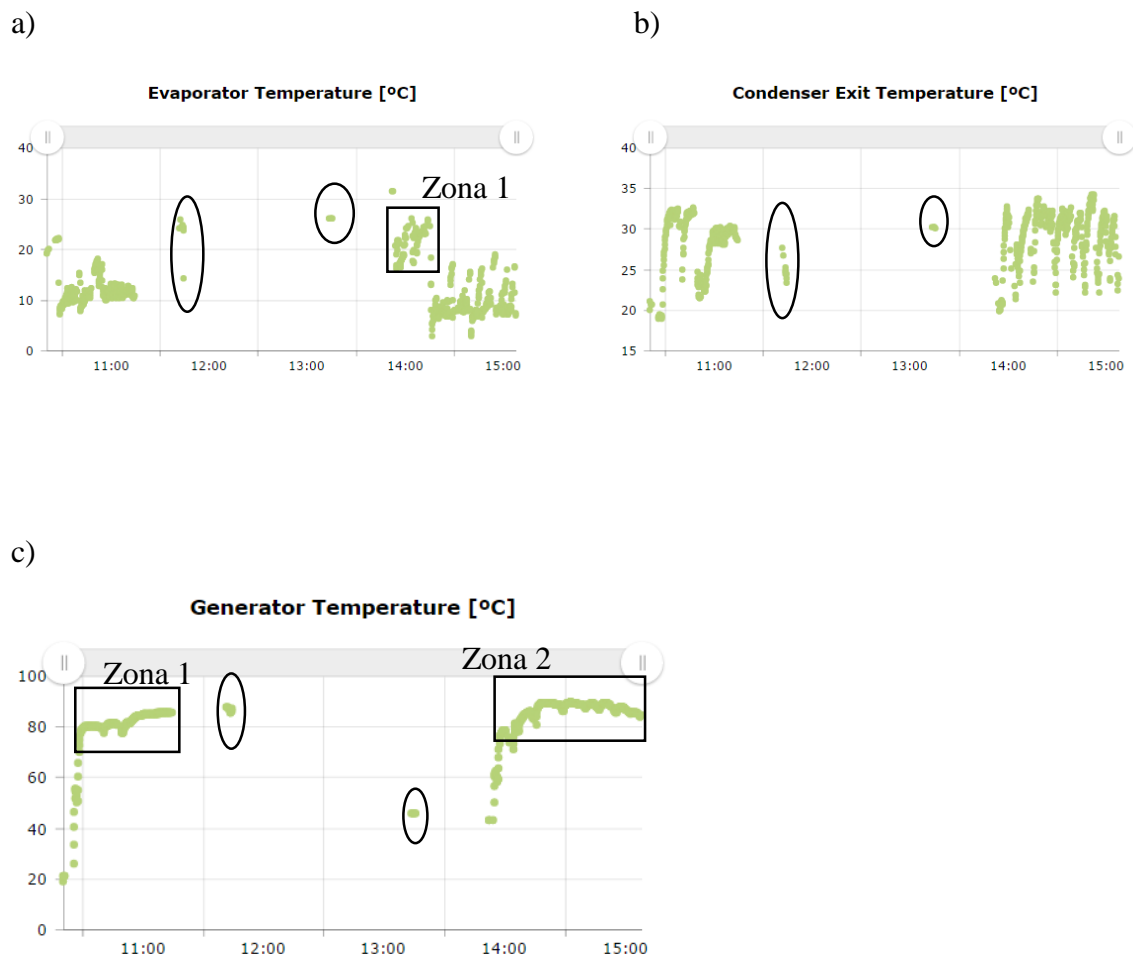


Figura 56 –*Screenshot* do *website* dos gráficos das temperaturas no tempo do dia 21 de Outubro de 2015 de: a)evaporador; b) saída do condensador; c)gerador.

Verifica-se que a temperatura no evaporador começa por ter valores relativamente próximos entre si (entre as 11 e 12h) e entre os 7 e 18°C. A partir das 14:30 horas começou por apresentar valores elevados (zona 1 do gráfico da Figura 56a), baixando de seguida para valores próximos dos 10°C. A temperatura de saída do condensador apresentou variações acentuadas, sem ter uma zona de valores de referência. Verifica-se, contudo, que esta temperatura no início de cada experiência aumenta com o aumento da pressão no condensador. Em relação à temperatura no gerador os valores situaram-se entre os 80 e 85°C (zona 1 e 2 do gráfico da Figura 56c) e mantiveram-se relativamente constantes depois de se atingir o regime permanente. Os pontos assinalados entre as elipses, com período de duração muito pequeno nos vários gráficos da figura anterior correspondem, provavelmente, a tentativas de teste interrompidas imediatamente. Como o *website* ainda não se encontrava concluído neste dia, este teste foi realizado por outras pessoas, não sendo por vezes encontrada uma explicação que poderá ser fácil para este tipo de pontos.

Na Figura 57 apresentam-se os resultados obtidos no *website* para a radiação solar, incidente, calor útil e potência de arrefecimento.

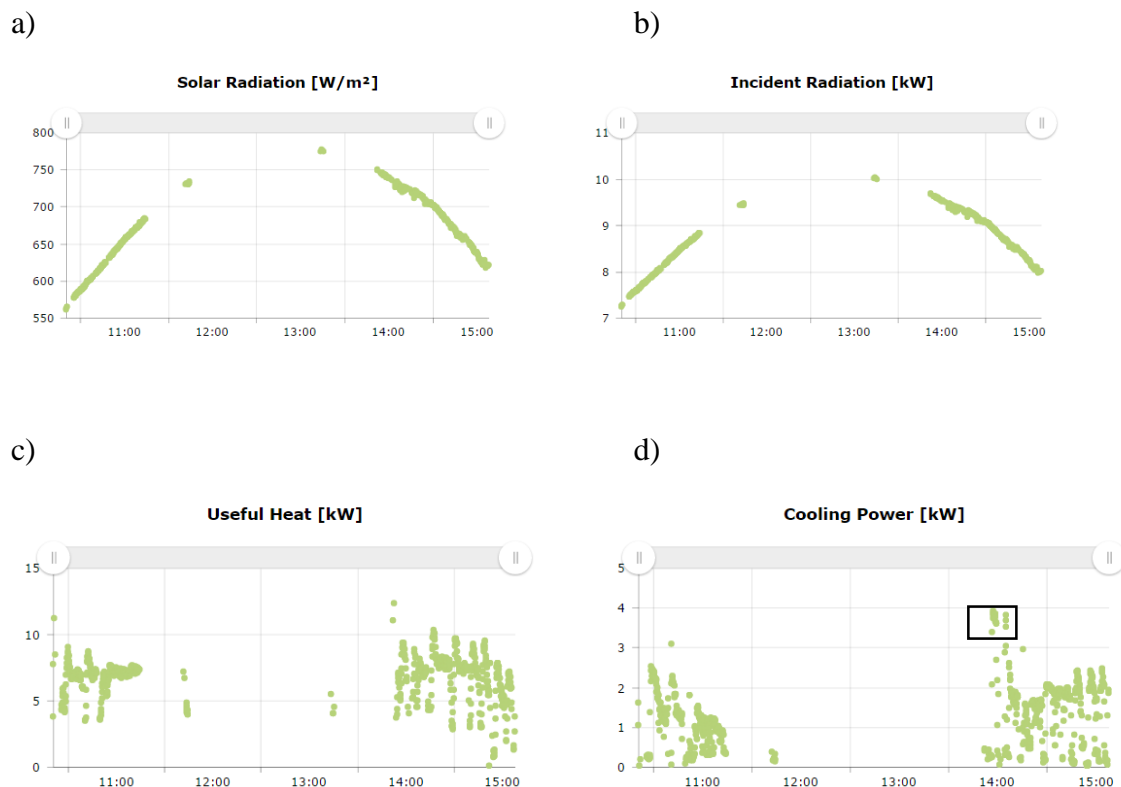


Figura 57 - Screenshot do website do dia 21 de Outubro de 2015 de: a) radiação solar b) radiação incidente c) calor útil d) potência de arrefecimento

A radiação solar subiu até aos 680 W/m<sup>2</sup> do início do teste até perto das 12 horas e decresceu a partir das 14:22 horas (749 W/m<sup>2</sup>) até ao final do teste (655 W/m<sup>2</sup>). A radiação incidente assumiu uma forma semelhante à radiação solar subindo durante experiências realizadas de manhã e decrescendo com o avançar da tarde. O calor útil registou-se também afetado pelas operações de arranque e encerramento de funcionamento da SOLAC-TDF, situando-se maioritariamente entre os 5 e os 10 kW. Para a potência de arrefecimento, obtiveram-se valores muito oscilantes entre si, que por poucas vezes foram além dos 3kW, exceção aos valores que se encontram dentro do retângulo assinalado na Figura 57c que são explicáveis pelas referidas operações arranque da SOLAC-TDF.

Na Figura 58 estão visíveis os resultados obtidos para a monitorização dos contadores energéticos.

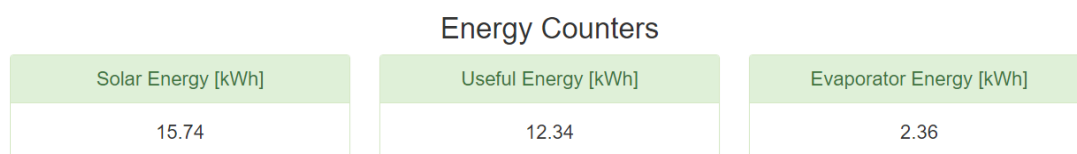


Figura 58 - Screenshot do website dos contadores energéticos do dia 21 de Outubro de 2015

Registaram-se 15,7 kWh de energia solar incidente, 12,3 kWh de calor útil e 2,4 kWh de potência de arrefecimento. Fazendo uma análise através destes valores, verifica-se um eficiência solar média (quociente entre o calor útil e a energia solar incidente) de 78%, uma eficiência do ciclo ejedor (quociente entre a energia de arrefecimento e o calor útil) de 19% e uma eficiência global do sistema (quociente entre a energia de arrefecimento e a energia solar incidente) de 15%.

### 5.3 - Teste 2

No dia 15 de Janeiro de 2016 foi realizado um teste para validação do sistema de monitorização. Este foi o dia escolhido uma vez que foi o primeiro depois da conclusão do *website* em que se previam condições meteorológicas sem nuvens e chuva possibilitando uma maior quantidade de radiação a chegar aos coletores. Aqueceu-se previamente a sala a climatizar com a ajuda de um aquecedor elétrico com o intuito de se conseguir ter uma carga térmica aceitável dentro do espaço. O teste foi realizado quando reunidas as condições de temperatura da água na saída dos coletores de pelo menos 75°C e com a operação a ser feita em modo manual e em controlo de pressão do gerador (e consequentemente da frequência da bomba), dando-se início à atividade experimental. Ajustou-se também a temperatura máxima da água da saída dos coletores para 95°C como uma medida de segurança. Este ajuste foi realizado na central solar CS-10 apresentada no capítulo 3. Este teste apresenta ainda uma diferença em relação ao 1º, tendo-se procedendo à dissipação de calor no condensador através de uma ligação a um reservatório de água que se encontra junto do edifício do Departamento de Engenharia Mecânica. Assim, apenas a sobreprodução energética do campo solar é dissipada com ar no dissipador de calor. Com isto conseguiu-se baixar a pressão do condensador e consequentemente aumentar o COP.

Ligou-se o sistema durante dois períodos de tempo (ver Tabela 11) com uma paragem entre eles.

Tabela 11 - Horas de início e fim das diferentes experiências do dia 15-01-2016

Experiência	1	2
<i>Início</i>	12:37:31	14:12:07
<i>Fim</i>	13:08:11	14:55:37
<i>Duração</i>	00:30:40	00:43:30

Na Tabela 12 estão apresentados os valores médios do COP,  $\lambda$ ,  $P_g$ ,  $P_c$ ,  $T_g$ ,  $\dot{V}_{sec}$ ,  $\dot{Q}_e$  e  $\dot{Q}_g$  e os respetivos desvios padrões relativos.

Tabela 12 - Resumo das experiências dia 15-01-2016

Experiência	1	2
$COP$ médio / DPR	0,53/6,3%	0,49/13,6%
$\lambda$ médio / DPR	0,38/4,8%	0,35/16,2%
$P_g$ [bar] média / DPR	7,95/2,2%	8,10/5,9%
$P_c$ (relativa) média [bar] / DPR	2,52/1,5%	2,47/8,6%
$T_g$ [°C] média / DPR	77,66/1,6%	78,61/3,3%
$\dot{m}_{sec}$ [m³/h] médio / DPR	6,39/1,9%	5,16/18,5%
$\dot{Q}_g$ [kW] média / DPR	5,98/2,1%	5,50/18,3%
$\dot{Q}_e$ [kW] média / DPR	3,15/6,2%	2,67/13,6%

O maior valor médio do COP de 0,53 foi atingido na experiência 1 um DPR de 6,3% para  $\dot{Q}_g$  médio de 5,98 kW e  $\dot{Q}_e$  médio de 3,15 kW. Repare-se que o DPR do COP é tanto maior quanto maior for o DPR nas potências do gerador e evaporador como se pode confirmar com os valores de COP médio de 0,49 com DPR de 13,6% da experiência 2 para maiores valores de DPR das potências do gerador e evaporador. O valor do  $\lambda$  médio foi de 0,53 na experiência 1 e de 0,49 na 2, sendo que nesta última apresenta o maior DPR de  $\lambda$  (13,6%), facto que está diretamente relacionado com as oscilações no caudal secundário, que se confirmam maiores na experiência 2 (valor médio de 5,16 m³/h e DPR de 18,5% contra valor médio de 6,39 m³/h e DPR de 1,8% na experiência 1). A  $P_g$  regulada para 8 bar no *LabView* apresentou média de 7,95 bar na experiência 1 com variação relativamente pequena (DPR de 2,2%) e na experiência 2 teve média de 8,10 bar com DPR de 5,9%.

Não foi possível inferir acerca da influência da pressão do condensador durante a experiência 1 uma vez que apresentou um DPR de 1,5%, valor que não permite conclusões. A Figura 59 mostra a variação do COP em função da pressão do condensador.

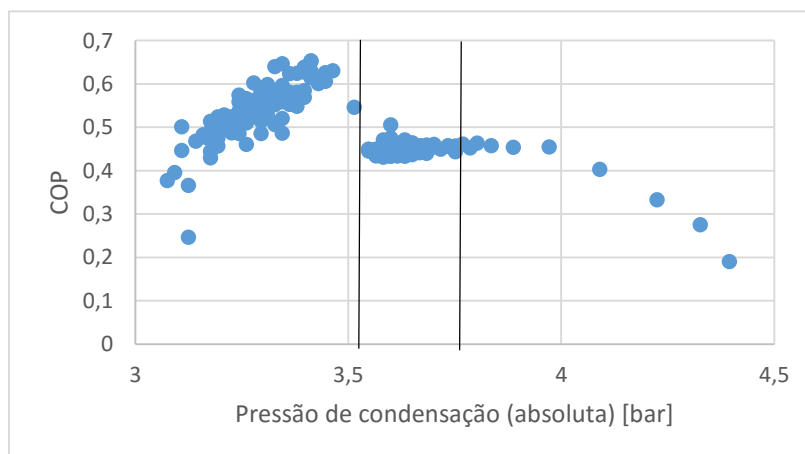


Figura 59 – Gráfico do COP em função da pressão de condensação para a experiência 2 no dia 15-01-2016

Verifica-se que o COP aumenta até um certo valor de pressão do condensador, aproximadamente 3,8 bar na zona do gráfico até à 1ª barra vertical, resultado inesperado em relação ao estudado no capítulo 2 que prevê apenas o que acontece após este aumento. Isto poderá estar relacionado com o facto de a pressão do gerador ou evaporador não se registar constante ou porventura com as mudanças feitas à posição do *spindle*. Entre as duas barras verticais do gráfico, o COP não varia com o aumento de  $P_c$  (região *double choking*). A partir da 2ª barra vertical nota-se a diminuição do COP com o aumento da  $P_c$  para além do seu valor crítico.

Na Tabela 13 encontram-se os valores máximos de COP,  $\lambda$ ,  $P_g$ ,  $P_c$ ,  $T_g$ ,  $\dot{V}_{sec}$ ,  $\dot{Q}_e$  e  $\dot{Q}_g$ .

Tabela 13 - Valores máximos e mínimos de parâmetros para as experiências 1 e 2 do dia 15-01-2016

Experiências	1	2
<i>COP máximo/mínimo</i>	0,61/0,30	0,65/0,19
<i><math>\lambda</math> máximo/mínimo</i>	0,40/0,31	0,48/0,16
<i><math>P_g</math> [bar] máxima/mínimo</i>	8,28/6,80	9,35/6,46
<i><math>P_c</math> [bar] máxima/mínimo</i>	2,63/2,43	3,40/2,08
<i><math>T_g</math> [°C] máxima/mínimo</i>	79,9/75,5	81,2/69,2
<i><math>\dot{V}_{sec}</math> [m³/h] máximo/mínimo</i>	6,52/5,84	6,47/2,26
<i><math>\dot{Q}_e</math> [kW] máximo/mínimo</i>	3,84/1,92	3,10/1,22
<i><math>\dot{Q}_g</math> [kW] máximo/mínimo</i>	6,95/5,37	6,63/3,80

Neste dia atingiu-se um COP máximo e mínimo na experiência 2, 0,65 e 0,19 respetivamente, o que reflete a maior variação do mesmo em relação à experiência 1. O mesmo se passou com o  $\lambda$  variando entre 0,16 e 0,48 na experiência 2. O  $\dot{V}_{sec}$  tem o seu pico na experiência 1, 6,52 m³/h, mas um maior intervalo entre valores máximos e mínimos na experiência 2 ( 6,47 e 2,26 m³/h) o que se reproduz nas flutuações mais acentuadas nos valores de COP e  $\lambda$  da mesma experiência. Produziu-se a potência máxima no gerador de 6,95 kW durante a experiência 1 e o máximo alcançado para a potência no evaporador foi de 3,84 kW onde também o  $\dot{V}_{sec}$  foi maior. A um  $\dot{V}_{sec}$  menor corresponde um  $\dot{V}_{prim}$  maior o que faz aumentar o quociente que dá origem ao COP.

O resultado da monitorização do COP da SOLAC-TDF no *website* (Figura 60) mostra valores elevados.

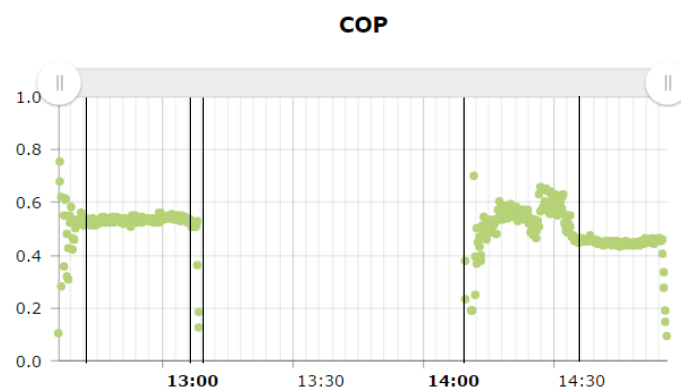


Figura 60 – Screenshot do website do gráfico do COP no tempo do dia 15 de Janeiro de 2016.

O COP apresentou valores constantes na ordem dos 0,53 durante a experiência 1 (zona entre as duas primeiras barras verticais), fazendo exceção da zona até à primeira barra vertical em que apresenta valores irregulares devido às operações de arranque do sistema. Durante a experiência 2 começou também por apresentar uma acentuada irregularidade, com valores a baixar até aos 0,2 e a subir lentamente (zona entre as terceira e quarta barras verticais) até estabilizar com valores a rondar os 0,5 (zona entre a quarta e quinta barra vertical). No fim de ambas as experiências nota-se uma diminuição rápida do COP. A irregularidade nos valores do COP verificada no início de cada experiência é devida ao facto de que, quando se inicia a operação de arranque da SOLAC-TDF, a frequência da bomba ser constantemente ajustada para que se consiga atingir o valor de pressão introduzido no painel de controlo em modo manual. Por outro lado, a irregularidade verificada no fim de cada experiência é devida ao facto de que, quando se encerra o funcionamento da SOLAC-TDF, a frequência da bomba é constantemente reduzida até à sua velocidade mínima para que depois seja desligada, provocando uma queda rápida no COP. Verificada esta acentuada dispersão de valores na experiência 2 tentou-se também ajustar o *spindle* fazendo com que este mudasse a sua posição para 9 mm, aumentando-se o caudal primário conseguindo-se, com a ajuda da estabilização dos valores da frequência da bomba, valores mais constantes para o COP. Vê-se ainda um grande espaço em branco, sensivelmente entre as 13 e 14 horas (zona entre as barras verticais 3 e 4) que corresponde a um período onde a instalação se encontrou desligada.

O resultado da monitorização do  $\lambda$  da SOLAC-TDF no website (Figura 61) mostra valores também elevados.

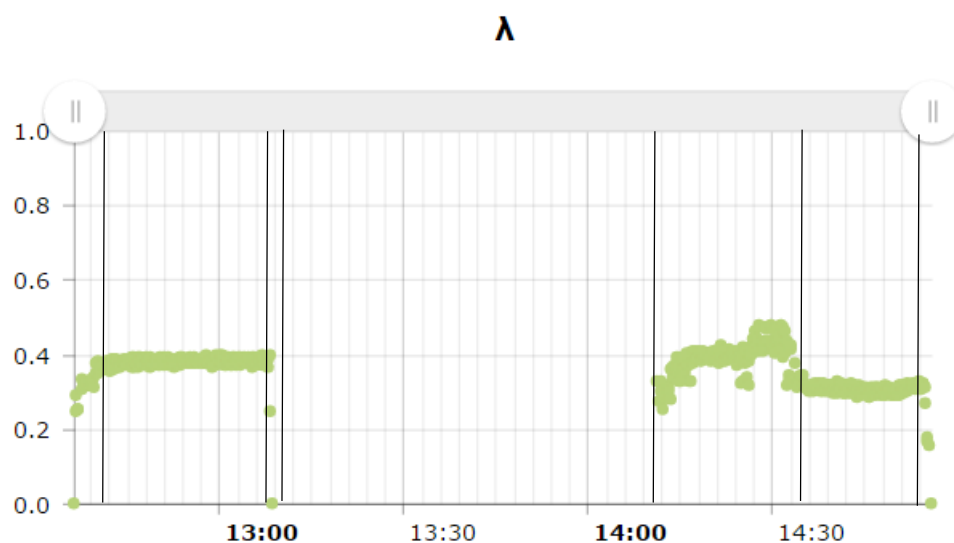


Figura 61 – *Screenshot* do website do gráfico do  $\lambda$  no tempo no dia 15 de Janeiro de 2016

A primeira análise rápida ao gráfico da figura anterior revela uma proporcionalidade direta em relação aos valores obtidos para o COP como seria de esperar. No período de testes 1 o  $\lambda$  rondou os 0,38 com poucos e pequenos desvios deste valor, começando por apresentar valores irregulares (zona do gráfico até a primeira barra vertical). Apresentou o seu pico de tarde por volta das 14:31 passando depois para valores mais estáveis de cerca de 0,3 como se pode confirmar na Figura 61. A instabilidade de valores de  $\lambda$  verificada no início e fim da experiência 1 e 2 tem que ver com as operações de arranque e encerramento do funcionamento da SOLAC-TDF que afetam a frequência da bomba e consequentemente os caudais do R600a no subsistema de refrigeração, como referido para o caso anterior (do COP). Sendo que é o caudal primário que depois da sua passagem pelo bocal primário provoca a sucção do fluído secundário, é natural que os valores de  $\lambda$  apresentem flutuações quando não se mantém o caudal primário constante.

O resultado da monitorização do rendimento solar da SOLAC-TDF no *website* (Figura 62) mostra também duas zonas distintas correspondentes às duas experiências identificadas..



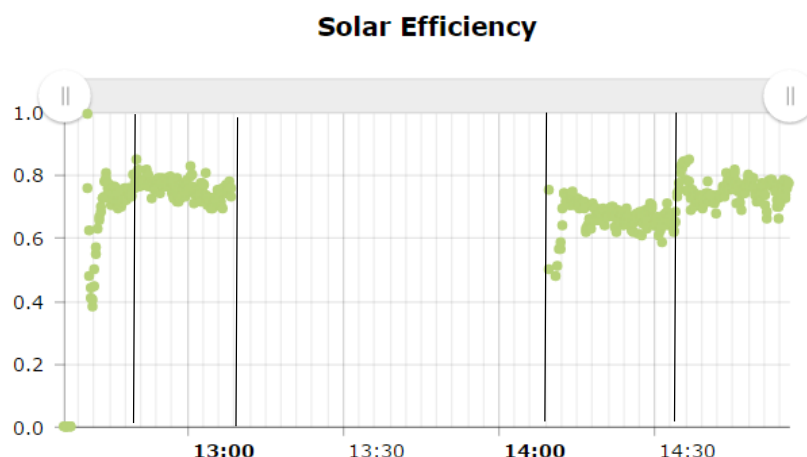
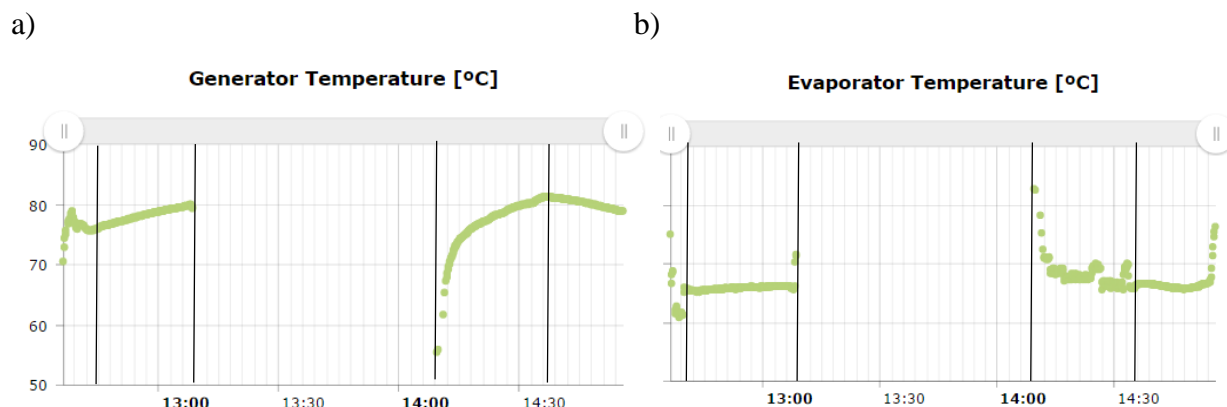


Figura 62 – Screenshot do website do gráfico do rendimento solar no tempo do dia 15 de Janeiro de 2016

O rendimento solar (Figura 62) apresentou valores entre os 0,6 e os 0,8 durante as 2 experiências (quase sempre abaixo do rendimento ótico de 0,83 previsto pelo fabricante [36]) dentro do esperado com alguns altos e baixos. A primeira e terceira zonas, (até à primeira barra vertical e entre a 3ª e 4ª) notam um aumento do valor do rendimento solar que é explicado pelo facto de que quando a SOLAC-TDF não está a funcionar, a temperatura de entrada e saída da água dos coletores solares ser sensivelmente a mesma sendo necessário fazer circular o volume que a água ocupa nos coletores solares e tubos hidráulicos, substituindo-o pelo volume de água do acumulador. Isto permite que a diferença de temperatura da água nos coletores solares aumente para que se atinjam valores razoáveis. O rendimento solar começam a apresentar valores mais constantes a partir do momento em que estas duas temperaturas estabilizam e se atinge o funcionamento em regime permanente. Confirma-se também o período de ausência de funcionamento da SOLAC-TDF entre as 2ª e 3ª barras verticais.

O resultado da monitorização das temperaturas do gerador, evaporador e saída do condensador da SOLAC-TDF no website (Figura 63) mostra também duas zonas distintas correspondentes às duas experiências identificadas.



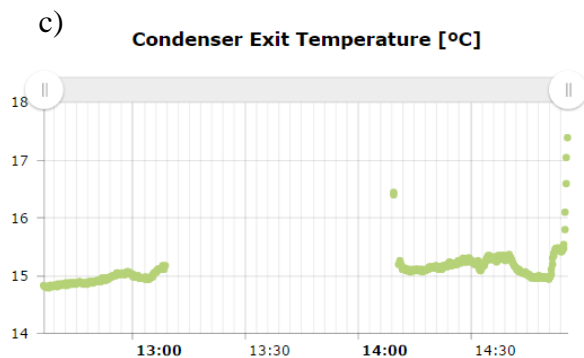


Figura 63 - Screenshot do website correspondentes ao dia 15 de Janeiro de 2016 : a) gráfico da temperatura do gerador no tempo b) gráfico da temperatura do evaporador no tempo c) gráfico da temperatura da saída do condensador no tempo

Os valores da temperatura do R600a na saída do gerador (Figura 63a) variaram entre 70 e 79°C na experiência 1 com um começo irregular até às 12:43 horas (até à primeira barra vertical) a partir da qual subiu constante e lentamente isto porque o calor útil disponível nos coletores vai aumentando com o aumento da diferença de temperatura da água nos coletores. Durante a experiência 2, a temperatura do gerador subiu até ao seu pico de 81,2°C às 14:36 (zona entre a 3ª e 4ª barras verticais) e a partir daqui diminui constante e lentamente o que poderá ser reflexo da diminuição da radiação solar disponível que provoca uma diminuição calor útil.

A temperatura do evaporador manteve-se relativamente constante no 1º com valores entre os 7,6 e 8,1°C (zona entre a 1ª e 2ª barras verticais da Figura 63b). Durante o 2º teste, tirando um início turbulento devido à instabilidade do caudal debitado pela bomba do R600a (zona entre a 3ª e 4ª barras verticais da Figura 63b) correspondentes a novas operações de arranque da SOLAC-TDF e antes do ajuste do *spindle*, a temperatura voltou a valores mais próximos da experiência 1, entre 7,8 e os 8,3 °C.

A temperatura de saída do R600a do condensador (Figura 63c) apresentou valores entre 14,8 e 15,2°C durante a experiência 1. O valor mínimo na experiência 2 foi de 14,9°C e um máximo de 15,5°C. De realçar que esta é a temperatura do R600a na saída do condensador e não a temperatura de condensação que corresponde à temperatura de saturação para a pressão de saída do condensador. Assim, o estado do fluído à saída do condensador, líquido comprimido com vários graus de subarrefecimento.

A Figura 64 mostra os resultados da monitorização radiação solar e potência incidente da SOLAC-TDF no website.

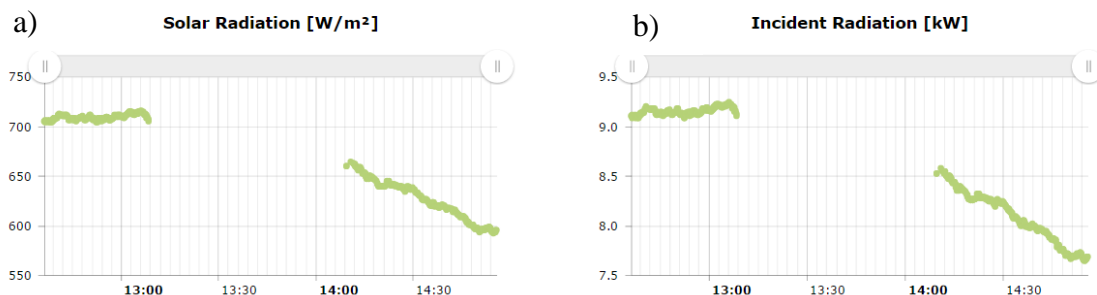


Figura 64 - Screenshot do website do dia 15 de Janeiro de 2016 dos gráficos de : a) radiação solar no tempo b) potência incidente no tempo

Em relação à radiação solar (Figura 64), o seu valor apresentou poucas oscilações no período da experiência 1 variando entre um máximo de 715 W/m<sup>2</sup> e 703 W/m<sup>2</sup> de mínimo. Durante a experiência 2 nota-se a diminuição da radiação solar. A potência incidente (Figura 64b) tem uma forma em tudo semelhante á da radiação solar como esperado. Varia entre 9,09 e 9,22 kW durante a experiência 1 e decresce durante a experiência 2.

A Figura 65 mostra os resultados da monitorização do calor útil e da potência de arrefecimento no evaporador da SOLAC-TDF no website.

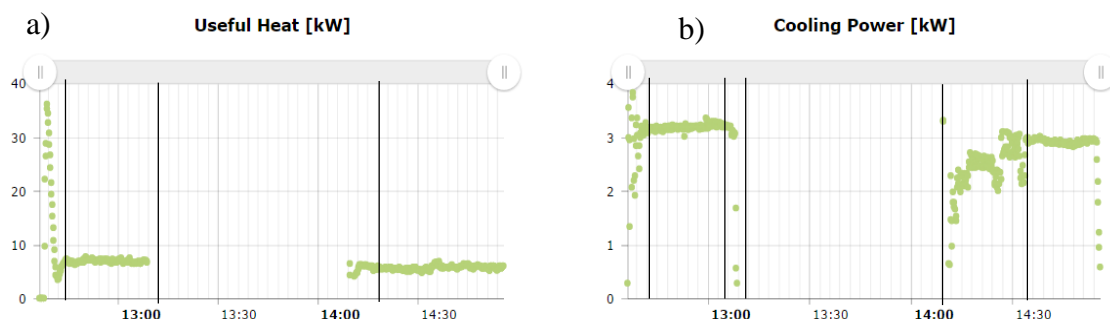


Figura 65 - Screenshot do website do dia 15 de Janeiro de 2015 dos gráficos de : a) potência útil no tempo b) potência de arrefecimento do evaporador no tempo

O  $\dot{Q}_u$  (Figura 65a) apresenta também valores muito próximos e constantes na ordem dos 7 kW de manhã e dos 5,5-6 kW da parte da tarde. Começa por apresentar valores irregulares (zona do gráfico até à primeira barra vertical) até se tornar constante, que se explica pela mesma razão dada para a primeira zona do gráfico do rendimento solar (circulação do volume de água dos coletores e tubos hidráulicos). Por sua vez, a  $\dot{Q}_e$  situou-se ligeiramente acima dos 3 kW no período constante da experiência 1 (zona do gráfico da Figura 65b entre a 1ª e 2ª barra vertical) e rondou os 3 kW na zona constante da experiência 2 (zona do gráfico da Figura 65b após a 5ª barra vertical). Na zona entre as barras verticais 4 e 5 da experiência 2 e até à primeira barra vertical da experiência 1 verificam-se novamente valores irregulares confirmando a influência das operações de

arranque (que influenciam o  $\dot{m}_{sec}$  ao mudarem os valores de  $\dot{m}_{prim}$ ), também no valor de  $\dot{Q}_e$ .

Ainda neste dia, apresentam-se os contadores energéticos obtidos na figura 66.

Energy Counters		
Solar Energy [kWh]	Useful Energy [kWh]	Evaporator Energy [kWh]
10.97	8.62	3.64

Figura 66 - *Screenshot* do *website* dos contadores energéticos do dia 15 de Janeiro de 2016

Registaram-se 11 kWh de energia solar incidente, 8,6 kWh de calor útil e 3,6 kWh de potência de arrefecimento. Note-se que estes valores são apenas o somatório dos valores para os quais o COP respeita o filtro implementado (apenas apresentar os valores entre 0,05 e 1), pelo que podem representar uma subvalorização. Contudo dão uma boa ideia de quais as energias obtidas durante o funcionamento do ciclo de refrigeração com ejedor solar. Fazendo uma análise através destes valores, verifica-se um rendimento solar (quociente entre o calor útil e a energia solar incidente) de 79%, uma eficiência do ciclo ejedor (quociente entre a energia de arrefecimento e o calor útil) de 42% e uma eficiência global do sistema (quociente entre a energia de arrefecimento e a energia solar incidente) de 33%.

## Capítulo 6

### Conclusões e prespetivas de trabalhos futuros

O objetivo desta dissertação era elaborar um sistema de monitorização da instalação de ar condicionado com energia solar térmica do edifício do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A instalação SOLAC-TDF encontra-se dividida em 4 subsistemas, o solar, de refrigeração com ejedor, de dissipação e o de arrefecimento/aquecimento.

Foi escolhido realizar-se um *website* como solução para o sistema de monitorização sendo que assim será possível inferir acerca do desempenho da instalação rapidamente e para qualquer dia recorrendo a dados passados armazenados numa base de dados. Quando o utilizador está no *website* tem a hipótese de selecionar se pretende visualizar uma monitorização ao vivo ou de dados passados. Como nem sempre ela esta a funcionar, se se carregar em “Live” e ela não estiver, o *website* informa o utilizador disso mesmo.

Para validação do sistema de monitorização foram realizados testes ao mesmo com a instalação em funcionamento e com dados de um dia passado (testes realizados por Paulo Pereira e Szabolcs Varga). Foram apresentados nesta dissertação os resultados para os dias 21 de Outubro de 2015 (1º teste) e 15 de Janeiro de 2016 (2º teste). O controlo das experiências foi efetuado por pressão do gerador para 9 bar no 1º teste e 8 bar no 2º.

O sistema funcionou dentro do esperado traçando os gráficos automaticamente, verificando-se que apresentou valores muito mais constantes no 2º teste para o COP,  $\lambda$  e  $\eta_{sol}$  uma vez que neste teste se procederam a um menor número de experiências durante um maior período temporal para cada uma delas. Conclui-se assim que o sistema descreve com maior precisão o desempenho da SOLAC-TDF quanto mais próximo estiver do funcionamento em regime permanente. Isto está claramente visível nos dados obtidos para o 1º teste onde os gráficos traçados correspondentes a COP,  $\lambda$  e  $\eta_{sol}$  apresentam uma considerável dispersão de valores que refletem a influencia das operações de arranque de sistema onde a frequência da bomba do subsistema de refrigeração com ejedor é ajustada progressivamente para a pressão definida no modo de controlo manual no programa *LabView* nos primeiros minutos de cada experiência. Durante o 2º teste, o subsistema de dissipação de calor responsável por manter frio o condensador teve uma alteração em relação ao 1º teste. Forneceu-se para este subsistema água diretamente do poço que chega à entrada do condensador a uma temperatura quase sempre constante e que não é afetada pela dissipação de sobreprodução do campo solar. Isto permitiu uma melhor dissipação de calor do subsistema de refrigeração com ejedor, estando este fator também ligado aos valores mais altos de COP e  $\lambda$  obtidos.

O  $\eta_{\text{sol}}$  foi um dos parâmetros que mais complicações deu durante o 1º teste uma vez que quando a SOLAC-TDF se encontra desligada a água quente que se encontra nos coletores solares não permite que haja uma diferença de temperatura na sua entrada e saída, sendo substituída quando se liga a bomba do subsistema solar por uma massa de água fria correspondente ao volume do acumulador. Por esta razão, ligar e desligar a instalação SOLAC-TDF representa altos e baixos na representação do rendimento solar. Para uma estimativa indicativa do desempenho solar podem ser atentados os contadores energéticos disponíveis na parte final do separador “Monitoring” do *website* que dão conta da energia incidente, calor útil e energia de arrefecimento para os períodos em que o COP obedece ao filtro aplicado ao sistema de monitorização (apenas apresenta valores de COP entre 0,05 e 1). Com estes valores energéticos foram rapidamente calculadas as eficiências médias respetivas ao subsistema solar, subsistema de refrigeração e global da instalação concluindo-se que no 1º teste o rendimento solar instantâneo apresentado no correspondente gráfico do *website* não será um indicador ótimo para avaliação do desempenho solar tendo superado o rendimento ótico previsto pelo fabricante de 0,83. No entanto, se for calculada a eficiência solar média chega-se ao valor de 78% (para energia solar incidente de 15,7 kWh e calor útil de 12,3 kWh). Por outro lado, no 2º teste os valores para o rendimento solar foram muito mais aceitáveis (entre os 0,7 e 0,8) reforçando a ideia de que a função do sistema de monitorização está otimizada para funcionamento em regime próximo do permanente (no 2º teste decorreram apenas 2 experiências com períodos de duração maiores do que na 1ª). Os valores energéticos neste 2º teste apontam para uma eficiência solar média de 79% coerente com o rendimento solar instantâneo.

Os resultados para o 2º teste apresentaram valores de indicadores de desempenho em tudo mais elevados, muito devido à alteração feita no subsistema de arrefecimento em relação ao teste 1. Foi fornecida à entrada do condensador água de um reservatório existente junto do edifício do Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP conseguindo-se com isso baixar a temperatura do condensador e consequentemente a pressão. Isto implicou um aumento do valor de COP no 2º teste que passou assim a dispensar a utilização do dissipador a ar, tendo este ficado encarregue apenas da dissipação da sobreprodução energética do subsistema solar. Consegue-se, portanto, uma temperatura da água no subsistema de dissipação na entrada do condensador mais constante caso não se tivesse procedido à referida alteração o que também contribui para os resultados menos oscilantes no 2º teste.

Tentou-se também perceber qual influência da pressão do condensador nos valores do COP, tendo-se chegado à conclusão de que, não se variando os parâmetros geométricos do ejedor (*spindle* e NXP) e mantendo também constantes as pressões do gerador e evaporador (funcionamento em *double choking*), o COP permanece inalterado até a pressão do condensador atingir a pressão crítica. Quando se chega a este valor crítico, continuando a aumentar a pressão resulta numa diminuição dos valores de COP, o que está de acordo com a literatura revista para um ejedor de geometria fixa.

Como proposta de trabalho futuro sugere-se o aperfeiçoamento do cálculo da massa volumica do R600a tratando para tal o fluído no estado gasoso como gás real e não assumindo ideal, fazendo recurso do fator de compressibilidade ou então fazendo uma interpolação bivariável para as gamas de pressão e temperatura no gerador e condensador. Um tema de trabalho futuro também poderá ser completar o sistema desenvolvido, incluindo a monitorização da função de aquecimento que a SOLAC-TDF também apresenta. Sugere-se ainda que se realizem testes em períodos de tempo mais longos e

que se teste o modo de operação automático do *LabView* e verificar os respetivos dados *online*. Propõe-se também melhorar o controlador de frequência da bomba para uma determinada pressão introduzida no modo de funcionamento manual para que os valores possam apresentar desvios padrões relativos mais baixos conseguindo-se assim uma demonstração o mais próxima do regime permanente possível. Testes à funcionalidade “Live” do *website* deverão também ser realizados para que se possa confirmar o seu correto funcionamento.





## Referências

- [1] Balaras, C.A., Argiriou, A.A., Michel, E., Henning, H.M. (2003). *Recent Activities on Solar AirConditioning*. ASHRAE TRANSACTIONS, Vol. 109, Part 1, 251-260.
- [2] EC 2000. Green Paper – *Towards a European strategy for the security of energy supply*. Commission of the European Communities, COM(2000)769 of 29 November, Brussels, Belgium.
- [3] Pereira, P.R., Varga,S., Palmero-Marrero,A., Oliveira, A.C., *Development and construction of a test demonstration facility with a solar driven variable geometry ejector air conditioning*.
- [4] Saudagar,R.T.Ingole,P.R.,Mohod,T.R., Choube,A.M., *A review of emerging technologies for solar air conditioner*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Junho de 2013.
- [5] Papadopoulos, A.M. , Oxizidis, S., Kyriakis, N., *Perspectives of solar cooling in view of the developments in the air-conditioning sector*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 21 de Março de 2013.
- [6] Wikipédia, Portugal. Junho de 2011; Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo\\_de\\_Quito](https://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quito)
- [7] Izquierdo, M., Moreno-Rodriguez, A., Gonzalez-Gil, A., Garcia-Hernando, N., *Air conditioning in the region of Madrid, Spain: An approach to electricity consumption, economics and CO2 emissions*. Universidade Carlos III de Madrid, Março de 2011.
- [8] Zeyghami, M., Goswami, Y., Stefanakos, E., *A review of solar thermos-mechanical refrigeration and cooling methods*, Renewable and Sustainable Energy Rewviews. 6 de Julho de 2015, Elsevier
- [9] Smith, C., *History of Solar Energy*. Disponível em: <http://solarenergy.com/info-history>
- [10] Pridasawas, W., Lundqvist, Per., *A year-round dynamic simulation of a solar driven ejector refrigeration system with iso-butane as a refrigerant*, International Journal of Refrigeration. Novembro de 2006, Elsevier.
- [11] Weiss, W., *Potencial of Solar Thermal in Europe – Executive Summary*. Vienna University of Technology. European Solar Thermal Industry Federation.
- [12] European Solar Thermal Industry Federation, *Solar Thermal Markets in Europe*. Junho de 2015
- [13] Weiss, W., *Potencial of Solar Thermal in Europe* . Vienna University of Technology. European Solar Thermal Industry Federation.

- [14] Green Rhino Energy – *Annual Solar Irradiance, Intermittency and Annual Variations*. 2011. Disponível em: <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/empiricalevidence.php>
- [15] Eurostat, *Short Assessment of Renewable Energy Sources*. 2013. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
- [16] Grossman, G., *Solar-Powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning*. Solar Energy Vol. 72, No. 1, 53–62, 26 de Julho de 2001, Elsevier.
- [17] Gutiérrez, H. *Simulação horária e otimização termo-económica de ciclos de refrigeração com ejedor movidos a energia solar e gás natural*. Tese para a obtenção de grau de Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Março de 2015.
- [18] Mehdi Zeyghami, Yogi Goswami, D., Elias Stefanakos, *A review of solar thermo-mechanical refrigeration and cooling methods*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 6 de Julho de 2015.
- [19] Sarbu, I., Sebarchievici, C., *Review of solar refrigeration and cooling systems*, Energy and Buildings. 14 de Agosto de 2013, Elsevier. p.287-296.
- [20] Sparber, B., W., Napolitano, A., Eckert G, Preisler A. *State of the art on existing solar heating and cooling systems*. A technical report of subtask B: IEA-SHC Task 38 solar air-conditioning and refrigeration; 2009.
- [21] Henning, H.M., *Solar assisted air conditioning of buildings – an overview*, Applied Thermal Engineering. Julho de 2006, Elsevier.
- [22] Allouhia, A., Kousksoub, T., Jamila, A., Bruelc, P., Mourada, Y., Zeraouli, Y., *Solar driven cooling systems: An updated review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 159-181, Elsevier.
- [23] Ersoy, H.K., Yalcin, S., Yapici, R., Ozgoren, M., *Performance of a solar ejector-system in the souther region of Turkey*, Applied Energy, Setembro de 2007. p.971-983, Elsevier
- [24] Allouche, Y., C.Bouden, and S.Varga, *A CFD analysis of the flow structure inside a steam ejector to identify the suitable experimental operating conditions for a solar-driven refrigeration system*. International Journal of Refrigeration, 2014. 39(0): p.186-195
- [25] Lebre, P.M.S, *Estudo da importância de um ejedor de geometria variável para aplicação em ciclos de refrigeração*, Dissertação do Projeto Final do MIEM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Julho de 2011.
- [26] Varga, S., Oliveira, A.C., Diaconu, B., *Influence of geometrical facts on steam ejector performance- A numerical assessment*, 17 de Maio de 2009, Elsevier
- [27] Li, C., Li, Y., Cai, W., Hu, Y., Chen, H., Yan, J., *Analysis on performance characteristics of ejector with variable area-ratio for multi-evaporator refrigeration system based on experimental data*, Applied Thermal Engineering. 13 de Abril de 2014, Elsevier.
- [28] Pereira, P.R., Varga, S., Oliveira, A.C., Soares, J., Lopes, A.M., Almeida, F.G., Carneiro, J.F., *Experimental results with a variable geometry ejector using R600a as working fluid*. 29 de Junho de 2014, Elsevier.

- [29] Yan, J., Cai, W., Li, Y., *Geometry parameters for air-cooled ejector cooling systems with R134a refrigerant*, Renewable Energy. 20 de Março de 2012, Elsevier
- [30] Varga, S., Oliveira, A.C., Lebre, P.M.S., *Readdressing working fluid selection with a view to designing a variable geometry ejector*, International Journal of Low-Carbon Technologies Advance Access. 28 de Dezembro de 2013.
- [31] Rocha, A.A.S., *Desenvolvimento e construção de uma casa modelo com arrefecimento solar térmico*, Relatório do Projeto Final/Dissertação do MIEM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Fevereiro de 2015.
- [32] Coroyannakis, P., Solar cooling overview and Recommendations, SOLCO. Disponível em: [www.solcoproject.net](http://www.solcoproject.net)
- [33] Solar Thermal , Solar Products and Energy Solutions. Disponível em: <http://www.spaes.com.pt/pt/termico>
- [34] Soluções para aquecimento de águas sanitárias, Renovus. Disponível em: [http://www.renovus.pt/index.php?page=7&id\\_cat=4&id\\_cat2=5](http://www.renovus.pt/index.php?page=7&id_cat=4&id_cat2=5)
- [35] Pereira, P.R., *Enchimento e manutenção do circuito hidráulico TDF*, Manual de procedimentos. Março de 2013, INEGI
- [36] *Catálogo Geral de Aquecimento*, BAXIROCA. 2014.
- [37] *Vasos de expansão para circuitos de energia solar térmica*. Disponível em: <http://www.tisst.net/documentos/sistemas-solares-termicos/vasos-de-expans%C3%A3o/>
- [38] *Permutadores de calor* – Catálogo Alfa Laval 2011.
- [39] Varga, S., *Investigation into an Improved Ejector for Variable Operating Conditions*, IDMEC (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), 29 de Setembro de 2014.
- [40] Varga, S., Oliveira, A.C., Diaconu, B., *Analysis of a Solar-assisted Ejector Cooling System for Air Conditioning*, International Journal of Low-Carbon Technologies Advance Access, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Março de 2009
- [41] Pramuditya, S., *Water Thermodynamic Properties*, Universidade de Tóqui. Disponível em: <https://syelendrapramuditya.wordpress.com/>
- [42] G. Rollmann, “Calculation of correction factors for variable area flow meters at deviating working conditions.”. Disponível em: [http://ktweb.de/pdf/physik/korrekturfaktorenberechnung\\_gb\\_2.2.pdf](http://ktweb.de/pdf/physik/korrekturfaktorenberechnung_gb_2.2.pdf).
- [43] Biblioteca de gráficos para javascript. Disponível em : <https://www.amcharts.com/>



**Anexo A - Tabela correspondente à pressão de saturação para uma determinada temperatura de R600a no gerador**

<b>Temperatura do gerador</b>	<b>Pressão gerador (relativa)</b>
60	6.65
61.46	6.91
62.92	7.12
64.38	7.46
65.83	7.75
67.29	8.04
68.75	8.34
70.21	8.65
71.67	8.96
73.13	9.28
74.58	9.61
76.04	9.95
77.5	10.3
78.96	10.65
80.42	11.01
81.88	11.38
33.33	11.76
84.79	12.15
86.25	12.55
87.71	12.96
89.17	13.37
90.63	13.8
92.08	14.24
93.54	14.68
95	15.14



## **Anexo B - Código em linguagem php (“buscarinformacao.php”) para retirar informação da base de dados para colocação no *website*.**

```
<?php
include 'connector.php';
if(!isset($_GET['data_inicio'])){
    echo json_encode(array("erro"=>true, "mensagem"=>"data_inicio em falta."));
}
if(!isset($_GET['data_fim'])){
    echo json_encode(array("erro"=>true, "mensagem"=>"data_fim em falta."));
}
$dataInicio = $_GET['data_inicio'];
$dataFim = $_GET['data_fim'];
$time_adjust = 1*60*60;
/*$dataInicio = "21-10-2015_09:37:18";
$dataFim = "22-10-2015_10:37:28";*/
$dataInicioSeparado = explode('_', $dataInicio);
$dataSeparado = explode('-', $dataInicioSeparado[0]);
$horaSeparado = explode(':', $dataInicioSeparado[1]);
$dataInicioUnix = $time_adjust + mktime(intval($horaSeparado[0]),
intval($horaSeparado[1]), intval($horaSeparado[2]),
intval($dataSeparado[0]), intval($dataSeparado[1]),
intval($dataSeparado[2]));
$dataInicioSeparado = explode('_', $dataFim);
$dataSeparado = explode('-', $dataInicioSeparado[0]);
$horaSeparado = explode(':', $dataInicioSeparado[1]);
$dataFimUnix = $time_adjust + mktime(intval($horaSeparado[0]),
intval($horaSeparado[1]), intval($horaSeparado[2]),
intval($dataSeparado[0]), intval($dataSeparado[1]),
intval($dataSeparado[2]));
$stmt = $db->prepare("SELECT
data_string,cop,lambda,g,temperatura_ambiente,temp_evaporador,temp_gerador,potencia
ia_evaporador,potencia_util,potencia_incidente,rendimento_solar,temperatura_condens
ador FROM instalacao_solar WHERE (cop > 0.05 AND COP < 1) AND (data >=
".$dataInicioUnix." AND data <=".$dataFimUnix."));
$stmt->execute();
$stmt->store_result();
```

```
$cop = 0;
```

```
$cop_array = array();
```

```
$lambda_array = array();
```

```
$g_array = array();
```

```
$temperatura_ambiente_array = array();
```

```
$temp_evaporador_array = array();
```

```
$temp_gerador_array = array();
```

```
$potencia_evaporador_array = array();
```

```
$potencia_media_array = array();
```

```
$potencia_util_array = array();
```

```
$potencia_incidente_array = array();
```

```
$rendimento_solar_array = array();
```

```
$temperatura_condensador_array = array();
```

```
$stmt-
```

```
>bind_result($data_string,$cop,$lambda,$g,$temperatura_ambiente,$temp_evaporador,  
$temp_gerador,$potencia_evaporador,$potencia_util,$potencia_incidente,$rendimento_  
solar,$temperatura_condensador);
```

```
for($i=0;$stmt->fetch();$i++){
```

```
    $cop_array[$i] = array("date"=>$data_string,"value"=>$cop);
```

```
    $lambda_array[$i]= array("date"=>$data_string,"value"=>$lambda);
```

```
    $g_array[$i]= array("date"=>$data_string,"value"=>$g);
```

```
    $temperatura_ambiente_array[$i]=  
array("date"=>$data_string,"value"=>$temperatura_ambiente);
```

```
    $temp_evaporador_array[$i]=  
array("date"=>$data_string,"value"=>$temp_evaporador);
```

```
    $temp_gerador_array[$i]= array("date"=>$data_string,"value"=>$temp_gerador);
```

```
    $potencia_evaporador_array[$i]=  
array("date"=>$data_string,"value"=>$potencia_evaporador);
```

```
    $potencia_util_array[$i]= array("date"=>$data_string,"value"=>$potencia_util);
```

```
    $potencia_incidente_array[$i]=  
array("date"=>$data_string,"value"=>$potencia_incidente);
```

```
    $rendimento_solar_array[$i]=  
array("date"=>$data_string,"value"=>$rendimento_solar);
```



```
$temperatura_condensador_array[$i]=  
array("date"=>$data_string,"value"=>$temperatura_condensador);  
  
}  
$stmt->close();  
  
echo json_encode(array(  
    "cop"=>$cop_array,  
    "lambda"=>$lambda_array,  
    "g"=> $g_array,  
    "temperatura_ambiente"=>$temperatura_ambiente_array,  
    "temp_evaporador"=>$temp_evaporador_array,  
    "temp_gerador"=>$temp_gerador_array,  
    "potencia_evaporador"=>$potencia_evaporador_array,  
    "potencia_util"=>$potencia_util_array,  
    "potencia_incidente"=>$potencia_incidente_array,  
    "rendimento_solar"=>$rendimento_solar_array,  
    "temperatura_condensador"=>$temperatura_condensador_array  
));
```



## **Anexo C - Código da classe “main” no programa java**

```
package main;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileReader;
import java.io.IOException;
import java.lang.Math;
import java.sql.SQLException;
import java.text.ParseException;
import java.text.SimpleDateFormat;
import java.util.Arrays;
import java.util.Date;
import java.util.List;
import java.nio.file.Files;
import java.nio.file.Path;
import java.nio.file.Paths;
import java.nio.file.attribute.BasicFileAttributes;
import leitor.Leitor;
import basedados.BaseDados;
import definicoes.Definicoes;
import calculos.Calculos;
import definicoes.exception.BadValuesException;
import definicoes.exception.PropertiesFileMissingValues;

public class Main {
    public static void main(String[] args) throws FileNotFoundException,
    IOException, PropertiesFileMissingValues, BadValuesException, ParseException,
    SQLException {
        Definicoes.carregarDefinicoes();

        BaseDados baseDados = new
        BaseDados(Definicoes.getServidorMysql(),Definicoes.getPortaMysql(),Definicoes.get
        NomeBaseDados(),Definicoes.getUtilizadorBaseDados(),Definicoes.getPasswordBase
        Dados());

        baseDados.ligar();
```

```
Leitor leitor = new Leitor(baseDados,Definicoes.getDiretorio());
while(true){
    try {
        if(leitor.haNovosFicheiros()){ // ha ficheiros
            if(leitor.haFicheiroActual()){ // ha ficheiro actual
                if(leitor.ficheiroActualFoiModificado()){
                    leitor.leLinhasFicheiroActual();
                    leitor.guardaEstadoFicheiroActual();
                }
                leitor.terminaLeituraFicheiroActual();
                leitor.buscarNovoFicheiro();
                leitor.leLinhasFicheiroActual();
                leitor.guardaEstadoFicheiroActual();
            }
        }
        else{
            // nao ha ficheiro actual
            leitor.buscarNovoFicheiro();
            leitor.leLinhasFicheiroActual();
            leitor.guardaEstadoFicheiroActual();
        }
    }
    else{
        // nao ha ficheiros novos
        if(leitor.ficheiroActualFoiModificado()){
            leitor.leLinhasFicheiroActual();
            leitor.guardaEstadoFicheiroActual();
        }
    }
    Thread.sleep(2000);
} catch (InterruptedException e) {
    e.printStackTrace();
}
/*String line;
String[] linhaSeparada;
```

```
float cop;
float lambda;
int tempoUnix;

int num_test = 0;//remover contador
try (BufferedReader br = new BufferedReader(new
FileReader("C:/fabio_teste/ficheiro4.txt"))) {
    while ((line = br.readLine()) != null) {
        linhaSeparada = line.split("\\s+");
        Calculos calculos = new Calculos();
        tempoUnix = calculos.calculoTempoUnix(linhaSeparada);
        cop = calculos.calculoCop(linhaSeparada);
        System.out.println(Arrays.toString(linhaSeparada));
        System.out.println(tempoUnix);
        num_test++;
    }
}
Path file = Paths.get("C:/fabio_teste/ficheiro.txt");
BasicFileAttributes attr = Files.readAttributes(file,
BasicFileAttributes.class);
System.out.println("creationTime: " + attr.creationTime());
System.out.println("lastAccessTime: " + attr.lastAccessTime());
System.out.println("lastModifiedTime: " + attr.lastModifiedTime().toMillis()/1000);
System.out.println("Size: " + attr.size());*/

/*BaseDados cliente;
cliente = new
BaseDados(Definicoes.getServidorMysql(),Definicoes.getPortaMysql(),Definicoes.get
NomeBaseDados(),Definicoes.getUtilizadorBaseDados(),Definicoes.getPasswordBase
Dados());

cliente.ligar();
cliente.teste();*/
/*Files.walk(Paths.get("C:/fabio_teste/")).forEach(filePath -> {
    if (Files.isRegularFile(filePath)) {
```

```
        System.out.println(filePath);
    }
});*/
/*while(true){

    try {
        Thread.sleep(500);
    } catch (InterruptedException e) {
        e.printStackTrace();
    }

}*/
}
}
```

## **Anexo D - Código da classe “leitor” no programa java**

```
package leitor;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileReader;
import java.io.IOException;
import java.nio.file.Files;
import java.nio.file.Path;
import java.nio.file.Paths;
import java.nio.file.attribute.BasicFileAttributes;
import java.sql.SQLException;
import java.text.ParseException;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Arrays;
import java.util.stream.Stream;

import calculos.Calculos;
import basedados.BaseDados;

public class Leitor {
    String ultimoFicheiroLido;
    int ultimaLinhaLida;
    int ultimoTamanho;
    String directorio;
    ArrayList<String> ficheirosCompleto = new ArrayList<String>();
    BaseDados baseDados;
    String line;
    String[] linhaSeparada;
    String tempoString;
    int tempoUnix;
    float cop;
    float lambda;
    float g;
```

```
float temp_ambiente;
float temperatura_agua_entrada_evaporador;
float temperatura_agua_entrada_gerador;
float potencia_evaporador_agua;

public Leitor(BaseDados baseDados, String directorio) throws SQLException{
    this.baseDados = baseDados;
    this.directorio = directorio;
    this.ficheirosCompleto = listaFicheirosCompleto();
    if(haFicheirosPendentes()){
        buscarFicheiroPendente();
    }
    else{
        ultimoFicheiroLido = "";
        ultimaLinhaLida = 0;
        ultimoTamanho = 0;
    }
}

public ArrayList<String> listaFicheirosCompleto() throws SQLException{
    return baseDados.buscarFicheirosCompleto();
}

public void adicionaFicheiroListaCompleta(String nomeFicheiro){
    this.ficheirosCompleto.add(nomeFicheiro);
}

public boolean haNovosFicheiros() throws IOException{
    Object[] ficheiros;
    ficheiros = Files.walk(Paths.get("C:/fabio_teste/")).toArray();
    for(int i = 1;i<ficheiros.length;i++){
        String directorioAux = ficheiros[i].toString();
        int index = directorioAux.lastIndexOf("\\");
        String novoFicheiro = directorioAux.substring(index + 1);
        if(!ficheirosCompleto.contains(novoFicheiro)                &&
        !novoFicheiro.equals(ultimoFicheiroLido)){
            System.out.println("Há novos ficheiros.");
            return true;
        }
    }
}
```



```
    }
    System.out.println("Não há novos ficheiros.");
    return false;
}

public boolean haFicheiroActual(){
    if(this.ultimoFicheiroLido == ""){
        System.out.println("Não há ficheiro actual.");
        return false;
    }
    System.out.println("Há ficheiro actual");
    return true;
}

public void guardaEstadoFicheiroActual() throws SQLException{
    baseDados.guardaEstadoFicheiro(ultimoFicheiroLido,ultimaLinhaLida,ultimoTa
manho);

    System.out.println("Estado guardado na base de dados:
"+ultimoFicheiroLido+ " linha:"+ultimaLinhaLida + " tamanho:"+ultimoTamanho);
}

public void terminaLeituraFicheiroActual() throws SQLException,
FileNotFoundException, IOException, ParseException{
    completaFicheiro();
    adicionaFicheiroListaCompleta(ultimoFicheiroLido);
    System.out.println("Ficheiro: "+ultimoFicheiroLido+" completo!");
}

public boolean ficheiroActualFoiModificado() throws IOException{
    Path file = Paths.get(diretorio+ultimoFicheiroLido);
    BasicFileAttributes attr = Files.readAttributes(file,
BasicFileAttributes.class);
    int tamanhoActual = (int) (attr.size());
    if(tamanhoActual > ultimoTamanho){
        System.out.println("Ficheiro modificado:"+ultimoFicheiroLido+",
tamanho antigo:"+ultimoTamanho+" tamanho actual:"+tamanhoActual);
        ultimoTamanho = tamanhoActual;
        return true;
    }
    System.out.println("Ficheiro não foi modificado.");
}
```

```
        return false;
    }

    public void completaFicheiro() throws SQLException{

        if(baseDados.completaFicheiro(ultimoFicheiroLido,ultimaLinhaLida,ultimoTam
        anho)){

            adicionaFicheiroListaCompleta(ultimoFicheiroLido);

        }
        else{

            System.out.println("Erro ao completar ficheiro: "+
            ultimoFicheiroLido);

        }

    }

    public boolean haFicheirosPendentes() throws SQLException{

        if(baseDados.haFicheirosIncompletos()){

            System.out.println("Há ficheiros pendentes.");

            return true;

        }

        System.out.println("Não há ficheiros pendentes.");

        return false;

    }

    public void leLinhasFicheiroActual() throws FileNotFoundException,
    IOException, ParseException, SQLException{

        int numLinhaActual = 1;

        System.out.println("A começar a inserir linha "+ultimaLinhaLida+" do
        ficheiro: "+ultimoFicheiroLido);

        try (BufferedReader br = new BufferedReader(new
        FileReader(diretorio+ultimoFicheiroLido))) {

            while ((line = br.readLine()) != null) {

                if(numLinhaActual>ultimaLinhaLida){

                    linhaSeparada = line.split("\\s+");

                    Calculos calculos = new Calculos(linhaSeparada);

                    calculos.variaveisExtra();

                    cop = calculos.calculoCop();

                    lambda = calculos.calculoLambda();

                    g = calculos.getG();

                }

            }

        }

    }

}
```

```
temp_ambiente = calculos.getTemp_ambiente();
temperatura_agua_entrada_evaporador=calculos.getTemp
eratura_agua_entrada_evaporador();
temperatura_agua_entrada_gerador=calculos.getTemperat
ura_agua_entrada_gerador();
potencia_evaporador_agua=calculos.getPotencia_evapora
dor_agua();
tempoUnix = calculos.calculoTempoUnix();
tempoString = calculos.getTempo();

baseDados.inserirLinha(tempoUnix,tempoString,cop,lambda,g,temp_ambiente,te
mperatura_agua_entrada_evaporador,temperatura_agua_entrada_gerador,potencia_evap
orador_agua);

    }

    /*System.out.println(Arrays.toString(linhaSeparada));
    System.out.println(tempoUnix);*/
    numLinhaActual++;
}
ultimaLinhaLida=numLinhaActual-1;
System.out.println("Inseriu ultima linha "+(numLinhaActual-1)+" do
ficheiro: "+ultimoFicheiroLido);
}

}

public void buscarFicheiroPendente() throws SQLException{
    baseDados.buscarFicheiroPendente();
    ultimoFicheiroLido = baseDados.getNomeFicheiroPendente();
    ultimaLinhaLida = baseDados.getUltimaLinhaFicheiroPendente();
    ultimoTamanho = baseDados.getUltimoTamanhoFicheiroPendente();
    System.out.println("Foi buscar ficheiro pendente: "+ultimoFicheiroLido);
}

/*public void testeMaior() throws IOException{
    Object[] ficheiros;
    Object ficheiroAux;
    int dataModificado;
    int dataModificadoMax = 0;
    int indexMax = 0;
```

```
ficheiros = Files.walk(Paths.get("C:/fabio_teste/")).toArray();
if(ficheiros.length>1){
    for(int i = 1;i<ficheiros.length;i++){
        Path file = Paths.get(ficheiros[i].toString());
        BasicFileAttributes attr = Files.readAttributes(file,
BasicFileAttributes.class);
        dataModificado = (int)
(attr.lastModifiedTime().toMillis()/1000);
        System.out.println("ficheiro:"+ficheiros[i].toString()+"
modificado:"+dataModificado);
        if(dataModificado>dataModificadoMax){
            dataModificadoMax = dataModificado;
            indexMax = i;
        }
    }

    System.out.println("ficheiromaior:"+ficheiros[indexMax].toString());
}
if(indexMax != 0){
    ficheiroAux = ficheiros[ficheiros.length-1];
    ficheiros[ficheiros.length-1]=ficheiros[indexMax];
    ficheiros[indexMax]=ficheiroAux;
}
for(int i = 1;i<ficheiros.length;i++){
    System.out.println(ficheiros[i].toString());
}

public void buscarNovoFicheiro() throws IOException, SQLException{
    Object[] ficheiros;
    Object ficheiroAux;
    int dataModificado;
    int dataModificadoMax = 0;
    int indexMax = 0;
    ficheiros = Files.walk(Paths.get("C:/fabio_teste/")).toArray();
    if(ficheiros.length>1){
        for(int i = 1;i<ficheiros.length;i++){
            Path file = Paths.get(ficheiros[i].toString());
```

```
        BasicFileAttributes attr = Files.readAttributes(file,
BasicFileAttributes.class);

        dataModificado = (int)
(attr.lastModifiedTime().toMillis()/1000);

        if(dataModificado>dataModificadoMax){
            dataModificadoMax = dataModificado;
            indexMax = i;
        }
    }
}

if(indexMax != 0){
    ficheiroAux = ficheiros[ficheiros.length-1];
    ficheiros[ficheiros.length-1]=ficheiros[indexMax];
    ficheiros[indexMax]=ficheiroAux;
}

for(int i = 1;i<ficheiros.length;i++){
    String directorioAux = ficheiros[i].toString();
    int index = directorioAux.lastIndexOf("\\");
    String novoFicheiro = directorioAux.substring(index + 1);
    if(!ficheirosCompleto.contains(novoFicheiro)){
        ultimoFicheiroLido = novoFicheiro;
        break;
    }
}

Path file = Paths.get(diretorio+ultimoFicheiroLido);
BasicFileAttributes attr = Files.readAttributes(file,
BasicFileAttributes.class);

ultimoTamanho = (int) (attr.size());
ultimaLinhaLida = 0;

baseDados.criaNovoFicheiro(ultimoFicheiroLido,ultimaLinhaLida,ultimoTaman
ho);

    System.out.println("Novo ficheiro: "+ultimoFicheiroLido+ " com
tamanho "+ultimoTamanho+" bytes");
}
}
```



## **Anexo E – Código da classe “calculos” no programa java**

```
package calculos;

import java.text.ParseException;
import java.text.SimpleDateFormat;
import java.util.Date;

public class Calculos {

    final float caudal_volumico_agua_evaporador = 0.0002217F;
    final float pressao_agua_gerador = 400;
    final float ro_n = 2.51F;
    final float r_r600 = 143F;
    float temperatura_media_agua_evaporador=0;
    float cp_evaporador_agua =0;
    float ro_agua_evaporador_agua = 0;
    float caudal_massico_evaporador_agua;
    float potencia_evaporador_agua;
    float temperatura_media_agua_gerador=0;
    float cp_gerador_agua =0;
    float ro_agua_gerador = 0;
    float caudal_massico_gerador_agua;
    float potencia_gerador_agua;
    float cop;
    float t_sec=0;
    float p_sec=0;
    float t_out=0;
    float p_out=0;
    float ro_sec=0;
    float ro_out=0;
    float caudal_volumico_secundario = 0;
    float caudal_volumico_out = 0;
    float caudal_massico_secundario = 0;
```

```
float caudal_massico_out = 0;
float caudal_massico_primario = 0;
float lambda = 0;
float temperatura_agua_entrada_evaporador = 0;
    float temperatura_agua_saida_evaporador = 0;
    float temperatura_agua_entrada_gerador = 0;
    float temperatura_agua_saida_gerador = 0;
    float caudal_volumico_agua_gerador = 0;
    float G = 0;
    float temp_ambiente = 0;
    String tempo;
    String data;
    String hora;
    String[] linhaSeparada;
    public Calculos(String[] linhaSeparada){
        this.linhaSeparada = linhaSeparada;
    }
    public int calculoTempoUnix() throws ParseException{
        data = linhaSeparada[0];
        hora = linhaSeparada[1];
        tempo = data + " " + hora;
        System.out.println(tempo);
        SimpleDateFormat FormatoData = new SimpleDateFormat("dd-MM-
yyyy HH:mm:ss");
        Date dataReal = FormatoData.parse(tempo);
        long TempoUnixMilisegundos = dataReal.getTime();
        long tempoUnixSegundos = TempoUnixMilisegundos / 1000;
        return (int) tempoUnixSegundos;
    }
    public void variaveisExtra(){
        G = Float.parseFloat(linhaSeparada[22]);
        temp_ambiente = Float.parseFloat(linhaSeparada[21]);
    }
    public float calculoCop(){
```



```

temperatura_agua_entrada_evaporador=Float.parseFloat(linhaSeparada[19]);
temperatura_agua_saida_evaporador= Float.parseFloat(linhaSeparada[20]);
temperatura_agua_entrada_gerador = Float.parseFloat(linhaSeparada[16]);
temperatura_agua_saida_gerador = Float.parseFloat(linhaSeparada[17]);
caudal_volumico_agua_gerador = Float.parseFloat(linhaSeparada[18]);
if(caudal_volumico_agua_gerador == 0)
    return 0;

    temperatura_media_agua_evaporador =
    (temperatura_agua_entrada_evaporador + temperatura_agua_saida_evaporador)/2;

    cp_evaporador_agua = (float) (4.214-2.286*Math.pow(10,-
3)*temperatura_media_agua_evaporador+4.991*Math.pow(10,-
5)*Math.pow(temperatura_media_agua_evaporador,2)-4.519*Math.pow(10,-
7)*Math.pow(temperatura_media_agua_evaporador,3)+1.857*Math.pow(10,
9)*Math.pow(temperatura_media_agua_evaporador,4));

    ro_agua_evaporador_agua = (float) (1001.1-
0.0867*temperatura_media_agua_evaporador-
0.0035*Math.pow(temperatura_media_agua_evaporador,2));

    caudal_massico_evaporador_agua =
caudal_volumico_agua_evaporador*ro_agua_evaporador_agua;

    potencia_evaporador_agua =
cp_evaporador_agua*caudal_massico_evaporador_agua*(temperatura_agua_entrada_evaporador-temperatura_agua_saida_evaporador);

    temperatura_media_agua_gerador = (temperatura_agua_entrada_gerador +
temperatura_agua_saida_gerador)/2;

    cp_gerador_agua=(float)(4.214 - 2.286 * Math.pow (10,-3) *
temperatura_media_agua_gerador + 4.991*Math.pow(10,-5) *
Math.pow(temperatura_media_agua_gerador,2) -4.519 * Math.pow(10,-7) * Math.pow
(temperatura_media_agua_gerador,3) + 1.857 * Math.pow(10,
9)*Math.pow(temperatura_media_agua_gerador,4));

    ro_agua_gerador = (float) (1001.1-0.0867*temperatura_media_agua_gerador-
0.0035*Math.pow(temperatura_media_agua_gerador,2));

    caudal_massico_gerador_agua=(caudal_volumico_agua_gerador/60000)*ro_agua_gerador;

    potencia_gerador_agua=caudal_massico_gerador_agua*(temperatura_agua_entrada_gerador-temperatura_agua_saida_gerador)*cp_gerador_agua;

    cop = potencia_evaporador_agua/potencia_gerador_agua;

    return cop;
}

```

```
public float calculoLambda(){
    t_sec=Float.parseFloat(linhaSeparada[8])+273.15F;
    p_sec=((Float.parseFloat(linhaSeparada[7])+1)*100)*1000;
    t_out=Float.parseFloat(linhaSeparada[11])+273.15F;
    p_out=((Float.parseFloat(linhaSeparada[10])+1)*100)*1000;
    caudal_volumico_secundario = Float.parseFloat(linhaSeparada[9]);
    caudal_volumico_out = Float.parseFloat(linhaSeparada[12]);
    ro_sec = p_sec/(r_r600*t_sec);
    ro_out = p_out/(r_r600*t_out);
    caudal_massico_secundario = (float) (ro_sec *
Math.sqrt(Math.abs(ro_n/ro_sec)) *(caudal_volumico_secundario/3600));
    caudal_massico_out = (float) (ro_out * Math.sqrt(Math.abs(ro_n/ro_out))
*(caudal_volumico_out/3600));
    caudal_massico_primario = caudal_massico_out - caudal_massico_secundario;
    lambda = caudal_massico_secundario/caudal_massico_primario;
    return lambda;
}

public float getTemperatura_agua_entrada_evaporador() {
    return temperatura_agua_entrada_evaporador;
}

public float getTemperatura_agua_entrada_gerador() {
    return temperatura_agua_entrada_gerador;
}

public float getG() {
    return G;
}

public float getTemp_ambiente() {
    return temp_ambiente;
}

public float getPotencia_evaporador_agua() {
    return potencia_evaporador_agua;
}

public String getTempo() {
    return tempo;
}
```

## **Anexo F – Código da classe “basededados” no programa java**

```
package basedados;

import java.io.FileInputStream;
import java.io.IOException;
import java.sql.Connection;
import java.sql.DriverManager;
import java.sql.ResultSet;
import java.sql.SQLException;
import java.sql.Statement;
import java.util.ArrayList;
import java.util.Date;
import java.util.List;
import java.util.Properties;
import definicoes.Definicoes;

public class BaseDados {
    private Connection ligacao = null;
    private String servidorMysql;
    private int portaMysql;
    private String nomeBaseDados;
    private String utilizadorBaseDados;
    private String passwordBaseDados;
    public String nomeFicheiroPendente;
    public int ultimoTamanhoFicheiroPendente;
    public int ultimaLinhaFicheiroPendente;

    public BaseDados(String servidorMysql,int portaMysql,String
nomeBaseDados,String utilizadorBaseDados,String passwordBaseDados) {
        this.servidorMysql = servidorMysql;
        this.portaMysql = portaMysql;
        this.nomeBaseDados = nomeBaseDados;
        this.utilizadorBaseDados = utilizadorBaseDados;
        this.passwordBaseDados = passwordBaseDados;
    }
}
```

```
public void ligar() throws IOException {
    System.out.println("jdbc:mysql://" + this.servidorMysql + ":" +
this.portaMysql + "/" + this.nomeBaseDados);
    try {
        Class.forName("com.mysql.jdbc.Driver");
        this.ligacao = DriverManager.getConnection("jdbc:mysql://" +
this.servidorMysql + ":" + this.portaMysql + "/" + this.nomeBaseDados,
this.utilizadorBaseDados,
        this.passwordBaseDados);
    } catch (ClassNotFoundException e) {
        System.out.println("Conexao falhou: " + e);
    } catch (SQLException e) {
        System.out.println("Conexao falhou: " + e);
    }
}

public ArrayList<String> buscarFicheirosCompleto() throws SQLException{
    Statement stmt = ligacao.createStatement();
    ArrayList<String> ficheirosCompleto = new ArrayList<String>();
    String query = "SELECT nome_ficheiro FROM ficheiros WHERE
completo=1;";
    ResultSet rs = stmt.executeQuery(query);
    while (rs.next()) {
        ficheirosCompleto.add(rs.getString("nome_ficheiro"));
    }
    return ficheirosCompleto;
}

public void buscarFicheiroPendente() throws SQLException{
    Statement stmt = ligacao.createStatement();
    ResultSet rs;

    String query = "SELECT nome_ficheiro, ultimo_tamanho, ultima_linha
FROM ficheiros WHERE completo = 0;";
    rs = stmt.executeQuery(query);
    while (rs.next()) {
        nomeFicheiroPendente = rs.getString("nome_ficheiro");
        ultimoTamanhoFicheiroPendente = rs.getInt("ultimo_tamanho");
    }
}
```

```
        ultimaLinhaFicheiroPendente = rs.getInt("ultima_linha");
    }
}

public boolean haFicheirosIncompletos() throws SQLException{
    Statement stmt = ligacao.createStatement();
    ResultSet rs;
    String query = "SELECT completo FROM ficheiros WHERE completo =
0;";

    rs = stmt.executeQuery(query);
    if (rs.next()) {
        return true;
    }
    return false;
}

public boolean guardaEstadoFicheiro(String nomeFicheiro, int ultimaLinhaLida, int
ultimoTamanho) throws SQLException{
    int result;
    Statement stmt = ligacao.createStatement();
    String query = "UPDATE ficheiros SET ultima_linha =
"+ultimaLinhaLida+",ultimo_tamanho="+ultimoTamanho+" WHERE nome_ficheiro =
"+nomeFicheiro+"";
    result = stmt.executeUpdate(query);
    if(result > 0)
        return true;
    else
        return false;
}

public boolean completaFicheiro(String nomeFicheiro, int ultimaLinhaLida, int
ultimoTamanho) throws SQLException{

    int result;
    Statement stmt = ligacao.createStatement();
```

```
String query = "UPDATE ficheiros SET completo = 1,ultima_linha =
"+ultimaLinhaLida+",ultimo_tamanho="+ultimoTamanho+" WHERE nome_ficheiro =
"+nomeFicheiro+"";

result = stmt.executeUpdate(query);

if(result > 0)

    return true;

else

    return false;

}

public boolean insereLinha(int tempoUnix, String tempoString,float cop,float
lambda,float g,float temp_ambiente,float temperatura_agua_entrada_evaporador,float
temperatura_agua_entrada_gerador,float      potencia_evaporador_agua)      throws
SQLException{

    int result;

    Statement stmt = ligacao.createStatement();

    String query = "INSERT INTO instalacao_solar
VALUES(0,"+tempoUnix+", "+tempoString+", "+cop+", "+lambda+", "+g+",
"+temp_ambiente+", "+temperatura_agua_entrada_evaporador+",
"+temperatura_agua_entrada_gerador+", "+potencia_evaporador_agua+")";

    System.out.println(query);

    result = stmt.executeUpdate(query);

    if(result > 0)

        return true;

    else

        return false;

}

public boolean criaNovoFicheiro(String nomeFicheiro, int ultimaLinhaLida, int
tamanhoFicheiro) throws SQLException{

    int result;

    Statement stmt = ligacao.createStatement();

    String query = "INSERT INTO ficheiros VALUES(0,"+nomeFicheiro+",
"+tamanhoFicheiro+", "+ultimaLinhaLida+", 0)";

    result = stmt.executeUpdate(query);

    if(result > 0)

        return true;

    else
```

```
        return false;
    }
    public String getNomeFicheiroPendente() {
        return nomeFicheiroPendente;
    }
    public int getUltimoTamanhoFicheiroPendente() {
        return ultimoTamanhoFicheiroPendente;
    }
    public int getUltimaLinhaFicheiroPendente() {
        return ultimaLinhaFicheiroPendente;
    }
}
```





## **Anexo G – Programa “definicoes” em java**

```
package definicoes;
import java.io.FileInputStream;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.IOException;
import java.util.Properties;
import definicoes.exception.BadValuesException;
import definicoes.exception.PropertiesFileMissingValues;
public class Definicoes{
    final static String directorioConfiguracao = "config.txt";
    private static String servidorMysql;
    private static String portaMysqlSTR;
    private static String nomeBaseDados;
    private static String utilizadorBaseDados;
    private static String passwordBaseDados;
    private static String directorioTXT;
    private static String tempoPoolingSTR;
    private static int portaMysql;
    private static int tempoPooling;
    public static void carregarDefinicoes() throws FileNotFoundException,
    IOException, PropertiesFileMissingValues, BadValuesException{
        Properties props = new Properties();
        //props.load(new FileReader(filepath));
        props.load(new FileInputStream(directorioConfiguracao));
        StringBuilder ValoresEmFalta = new StringBuilder();
        servidorMysql = props.getProperty("servidorMysql");
        if(servidorMysql == null || servidorMysql.isEmpty()){
            ValoresEmFalta.append("servidorMysql");
            ValoresEmFalta.append("\n");
        }
        portaMysqlSTR = props.getProperty("portaMysql");
        if(portaMysqlSTR == null || portaMysqlSTR.isEmpty()){
            ValoresEmFalta.append("servidorMysql");
            ValoresEmFalta.append("\n");
        }
    }
}
```

```
}
nomeBaseDados = props.getProperty("nomeBaseDados");
if(nomeBaseDados == null || nomeBaseDados.isEmpty()){
    ValoresEmFalta.append("servidorMysql");
    ValoresEmFalta.append("\n");
}
utilizadorBaseDados = props.getProperty("utilizadorBaseDados");
if(utilizadorBaseDados == null || utilizadorBaseDados.isEmpty()){
    ValoresEmFalta.append("servidorMysql");
    ValoresEmFalta.append("\n");
}
passwordBaseDados = props.getProperty("passwordBaseDados");
if(passwordBaseDados == null || passwordBaseDados.isEmpty()){
    ValoresEmFalta.append("servidorMysql");
    ValoresEmFalta.append("\n");
}
diretorioTXT = props.getProperty("diretorioTXT");
if(diretorioTXT == null || diretorioTXT.isEmpty()){
    ValoresEmFalta.append("servidorMysql");
    ValoresEmFalta.append("\n");
}
tempoPoolingSTR = props.getProperty("tempoPooling");
if(tempoPoolingSTR == null || tempoPoolingSTR.isEmpty()){
    ValoresEmFalta.append("servidorMysql");
    ValoresEmFalta.append("\n");
}
/*Caso hajam valores em falta o programa atira uma excepcao*/
if(!ValoresEmFalta.toString().trim().isEmpty()){
    throw new
PropertiesFileMissingValues(ValoresEmFalta.toString());
}

StringBuilder valoresErrados = new StringBuilder();
try{
```

```
        portaMysql = Integer.parseInt(portaMysqlSTR);
    } catch (NumberFormatException e) {
        valoresErrados.append("A porta MYSQL tem de ser um valor
inteiro.");
        valoresErrados.append("\n");
    }
    try {
        tempoPooling = Integer.parseInt(tempoPoolingSTR);
    } catch (NumberFormatException e) {
        valoresErrados.append("O tempo de pooling tem de ser um valor
inteiro.");
        valoresErrados.append("\n");
    }

    /*Caso o tipo dos valores esteja incorrecto atira excepcao*/
    if(!valoresErrados.toString().trim().isEmpty()){
        throw new BadValuesException(valoresErrados.toString());
    }
    System.out.println("Ficheiro de configuração carregado com sucesso.");

}

public static String getServidorMysql() {
    return servidorMysql;
}

public static String getNomeBaseDados() {
    return nomeBaseDados;
}

public static String getUtilizadorBaseDados() {
    return utilizadorBaseDados;
}

public static String getPasswordBaseDados() {
    return passwordBaseDados;
}

public static int getPortaMysql() {
```

```
        return portaMysql;
    }
    public static int getTempoPooling() {
        return tempoPooling;
    }
    public static String getDiretorio(){
        return diretorioTXT;
    }
}
```